

DE L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

REVUE MENSUELLE

SEPTEMBRE 1952

Cinquième année, n° 57.

SOMMAIRE

	Pages.
N. ESQUILLAN, Le hangar en béton armé à deux nefs de 101,50 m de portée de l'aéroport de Marignane.	819
Série : Béton, béton armé (XX).	
JOURNÉES INTERNATIONALES DE CHAUFFAGE, VENTILATION, CONDITIONNEMENT DE L'AIR 1952	
LE CHAUFFAGE PAR RAYONNEMENT	
T. N. ADLAM, L'expérience américaine.	887
A. KOLLMAR, Technique allemande.	890
A. GINI, Technique italienne.	900
R. CADIERGUES, Technique française	907
Série : Équipement Technique (XXVIII).	
H. F. WINTERKORN, Nouvelles recherches en matière de stabilisation des sols.	914
Série : Sols et fondations (IX).	
Documentation Technique réunie en mai-juin 1952.	933
Documentation technique (LVII).	
	943

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES
ET DE DOCUMENTATION TECHNIQUE
28, BOULEVARD RASPAIL, PARIS (VII^e)

LABORATOIRES DU BATIMENT
ET DES TRAVAUX PUBLICS
12, RUE BRANCION, PARIS (XV^e)

BUREAU SECURITAS
9, AVENUE VICTORIA, PARIS (IV^e)

CENTRE D'INFORMATION ET DE
DOCUMENTATION DU BATIMENT
100, RUE DU CHERCHE-MIDI, PARIS (VI^e)

Édité par La Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics.
(Société à responsabilité limitée au capital de 600 000 F.)

C. C. P. PARIS 8524-12

28, boulevard Raspail, PARIS-VII^e

Tél. : BAB. 18-56

Une des principales missions de L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

consiste à mettre à la disposition de toute personne intéressée par les problèmes de la construction, une vaste documentation fournie par :

Le service de documentation de l'Institut Technique

qui dépouille plus de 400 périodiques techniques dont plus de la moitié viennent de l'étranger;

*Les Laboratoires du Bâtiment
et des Travaux Publics;*

*Des techniciens français et étrangers
de la profession.*

Soit au cours de conférences ou de visites de chantier
organisées par le *Centre d'Études Supérieures*.

Soit dans des exposés traitant de questions ou de
réalisations diverses.

A cet effet, l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics dirige la rédaction ou rédige :

1^o Des ouvrages divers parmi lesquels il faut citer : les **Règles d'utilisation** de certains matériaux (béton armé, acier, etc.), des **Règles** ayant trait à des problèmes particuliers (par exemple : les effets de la neige et du vent sur les constructions). L'application de certaines de ces règles a été rendue **obligatoire** par le MINISTÈRE DE LA RECONSTRUCTION ET DE L'URBANISME pour les travaux relevant de son autorité.

(La liste des publications et les conditions d'envoi sont adressées sur demande formulée à la *Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*.)

2^o Les **ANNALES** qui publient :

Les conférences et comptes rendus de visites de chantiers organisées par le **Centre d'Études Supérieures**;

Des études originales françaises et étrangères;

Les **Manuels** du béton armé, de la charpente en bois et de la construction métallique;

Les comptes rendus de recherches d'intérêt général poursuivies par les **Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics**;

Une documentation technique.

Chaque sujet est classé dans les séries suivantes :

Architecture et Urbanisme.
Technique générale de la construction.
Théories et Méthodes de calcul.
(Résistance des matériaux.)
Essais et Mesures.
Sols et fondations.
Gros œuvre.
(Maçonnerie, travail du bois.)
Construction métallique.

Travaux Publics.
Matériaux.
(Pierres et Minéraux. Géologie.)
Liants hydrauliques.
Béton. Béton armé.
Béton précontraint.
Équipement technique.
(Électricité, chauffage et ventilation,
froid, acoustique, plomberie, couverture, étanchéité.)

Aménagement intérieur.
Matériel de chantier.
Questions générales.
(Questions économiques, hygiène, sécurité.)
Documentation technique.
Manuel du Béton armé.
Manuel de la Charpente en bois.
Manuel de la Construction Métallique.

EMBOITAGE POUR LES ANNALES

Pour permettre à nos abonnés de conserver facilement en bibliothèque avant reliure les numéros des « Annales », nous mettons à leur disposition un emboîtement avec jaquette, pouvant contenir une année complète des « Annales ».

Au prix de	700 F
Plus frais d'expédition :	
France et Union Française.....	110 F
Étranger	190 F

Les demandes, accompagnées de leur montant, doivent être adressées à **La Documentation Technique du Bâtiment et des Travaux Publics**, 28, boulevard Raspail, Paris-VII^e, C. C. P. Paris 8524-12. Elles seront satisfaites dans le délai maximum d'un mois.

SEPTEMBRE 1952

Cinquième Année, N° 57.

Série : BÉTON, BÉTON ARMÉ (XX).

LE HANGAR A DEUX NEFS DE 101,50 m DE PORTÉE DE L'AÉROPORT DE MARIGNANE

Par **M. N. ESQUILLAN,**

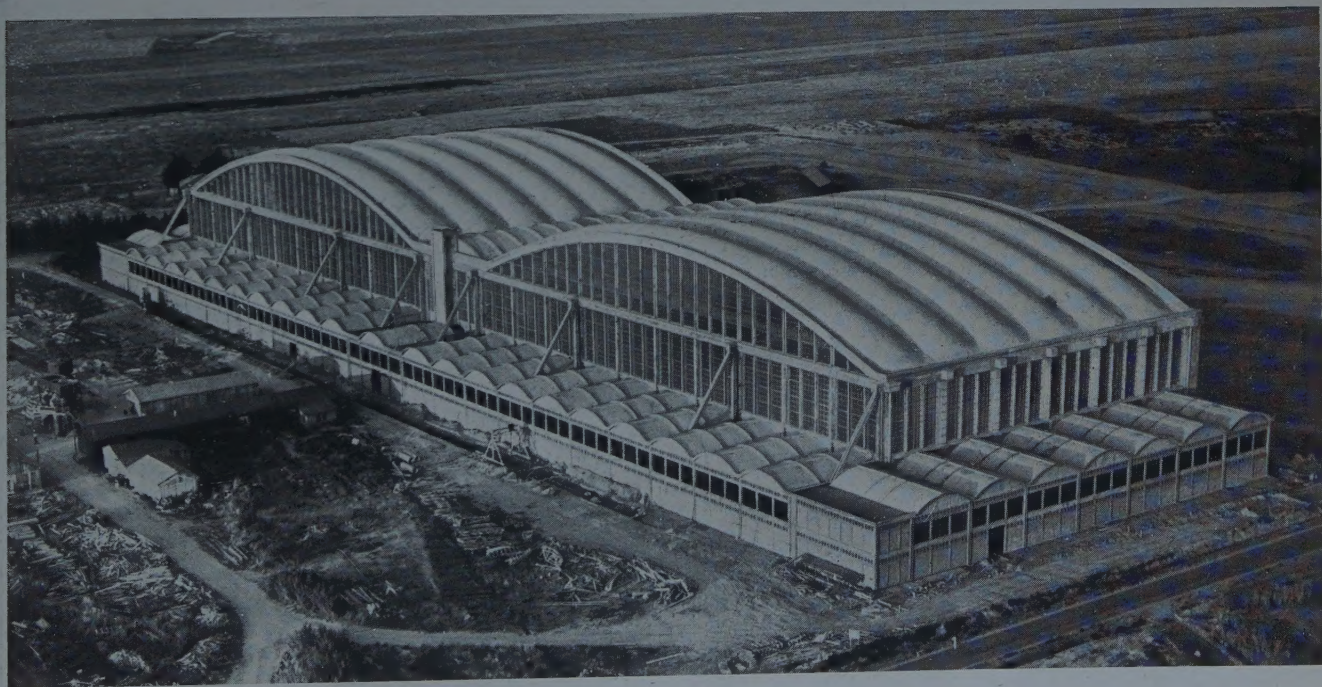
Directeur Technique des Entreprises BOUSSIRON.

AVANT - PROPOS

Par **M. J. FOUGEROLLE,**

Ancien Président de la Société des Ingénieurs Civils de France.

Président honoraire de la Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment Armé de France.



SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE
ASSOCIATION FRANÇAISE DES PONTS ET CHARPENTES

INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

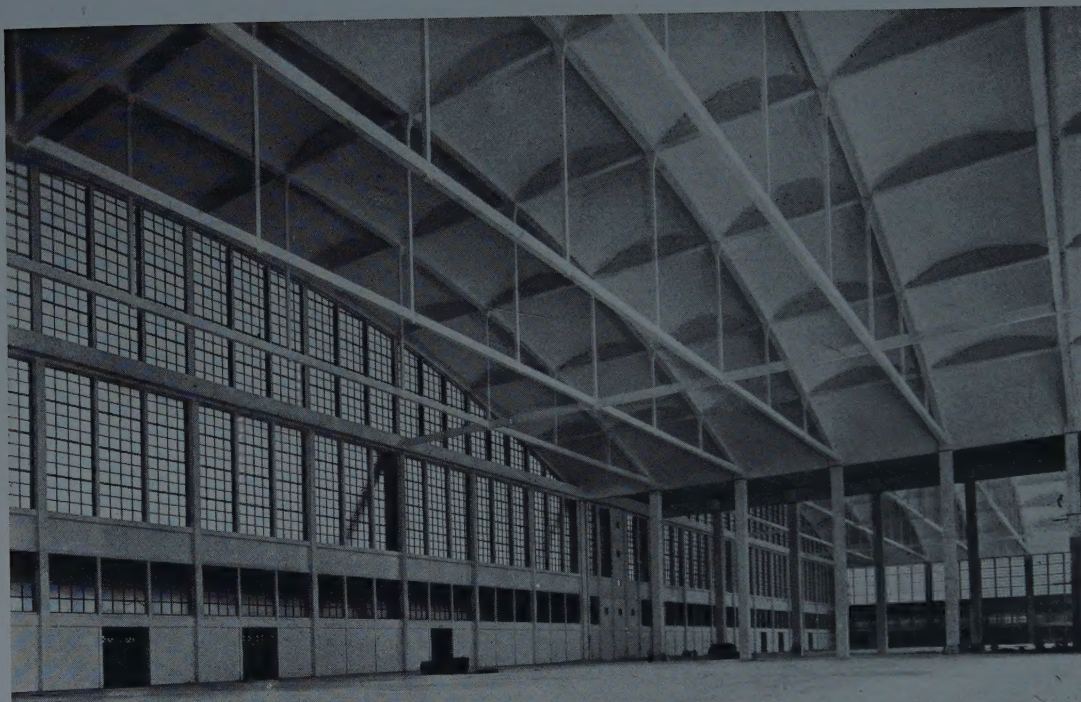


FIG. 1. — Vue intérieure du hangar.

RÉSUMÉ

Les hangars de Marignane en béton armé comprennent : deux nefs qui dégagent chacune une surface libre de 100×60 m, une entre-cellules de 18,70 m de largeur, des appentis sur trois côtés. L'ensemble couvre une superficie de 20 000 m².

La couverture des cellules par son envergure, par sa conception et par son mode de réalisation constitue leur originalité essentielle dont les deux caractéristiques principales sont :

- Un record de portée (101,50 m) pour les voûtes minces en béton armé sous-tendues par des tirants,
- Une extrapolation de préfabrication et de construction au sol avec levage par des moyens mécaniques.

L'élément porteur et courant de la toiture est une onde en béton armé de section transversale formée par un voile de 6 cm d'épaisseur en arc de cercle de 9,80 m de corde et 2,20 de flèche. Cette onde, raidie par des tympans transversaux, franchit 101,50 m avec une flèche de 12,10 m et comporte aux extrémités des retombées de forme spéciale permettant de concentrer les forces à l'appui poteau-tirant. Les tirants sont en acier à haute limite de rupture enrobé après mise en tension.

La couverture de chacune des nefs a été exécutée au sol puis levée à une hauteur de 19 m. Chacun des ensembles levés couvrait hors-tout 6 400 m² et pesait 4 200 t. L'élévation s'est effectuée par des moyens de chantier, dont une batterie de 16 vérins hydrauliques de 300 t et 2 vérins de 100 t à raison de 1,06 m par journée de levage. Différents dispositifs simples permettaient de conduire l'opération avec une sécurité totale.

SUMMARY

The reinforced concrete hangars at Marignane include : two bays of 100×60 m clear area each, a space between them 18.70 m wide and leantos on three sides. The whole covers an area of 20,000 sq. m.

The covering of the bays by its scope, conception and method of construction constitutes their basic originality. The two main characteristics are :

- A record span (101.50 m) for reinforced concrete shells subtended by ties.
- Prefabrication and assembling on the ground followed by hoisting through entirely mechanical equipment.

The bearing and general element of the roofing is a reinforced concrete corrugated shell the transverse section of which is formed by an envelope 6 cm thick in the form of an arc of circle of 9.80 m chord and 2.20 m rise. This corrugated shell stiffened by transverse spandrels spans 101.50 m with a 12.10 m rise and has at its ends specially shaped springings which concentrate the forces at the combination post-tie support. The ties are of high-strength steel encased after pretension.

The roofing of each of the bays was constructed on the ground and then hoisted 19 m high. Each of the hoisted assemblies covered 6 400 sq. m. overall and weighed 4 200 tons. Lifting was done by means of worksite equipment among which were a battery of sixteen 300 ton hydraulic jacks and two 100 ton jacks, at a hoisting rate of 1.06 m per day. Various simple devices enabled the operation to be conducted in complete safety.

AVANT-PROPOS

Le nouveau hangar à deux cellules de 100 m d'ouverture libre, récemment construit sur l'aérodrome de Marignane, constitue, à un double titre, un record-du monde. Par ses dimensions d'abord, en dégageant deux volumes de 100 m de longueur par 60 m de profondeur et 19 m de hauteur. Par son mode de construction ensuite, puisque, jamais à notre connaissance, une expérience de préfabrication n'a été encore poussée aussi loin, les couvertures de chacune des deux cellules ayant été entièrement construites au sol (avec toutes les garanties de précision et de qualité que doit offrir l'exécution de voûtes minces d'une telle portée), puis mises en place, d'un seul bloc, par levage. Ainsi, par deux fois, 6 000 m² de couverture en béton armé ont été élevés à 19 m de hauteur sur quatorze poteaux édifiés, au fur et à mesure, en éléments préfabriqués.

On se doute qu'une conception aussi hardie et que la mise en œuvre de procédés aussi exceptionnels ne peuvent être que le fruit de longues études confirmées par des essais et soigneusement poursuivies dans tous leurs détails. Tel fut le mérite de M. Esquillan, Directeur Technique des Entreprises Boussiron, secondé par son principal collaborateur M. François, Ingénieur à notre bureau d'études. Mis en présence d'un problème dont les données elles-mêmes incitaient à une solution à la fois ample et économique, ils surent pousser à fond une idée d'une hardiesse inusitée.

Pour être véritablement fructueuse, une telle réussite doit être un enseignement pour tous et c'est dans cet esprit que l'article qu'on va lire a été rédigé. Le lecteur y trouvera exposés les divers stades de la pensée de l'auteur, les méthodes de calculs de même que les difficultés suscitées par les détails d'exécution. Ainsi, pourra-t-il plus aisément tirer parti, s'il le désire, de l'expérience d'autrui. Les jeunes ingénieurs, en particulier, pourront y puiser un enseignement intéressant.

Ce faisant, l'auteur — à la compétence de qui je suis heureux de rendre une fois de plus hommage — demeure dans l'esprit qui anime le Centre d'Études Supérieures et l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics qui désirent non seulement informer mais aussi enseigner, ce dont il faut les louer sans réserves. On ne saurait, en effet, perdre de vue qu'au point où sont parvenues les techniques de la construction, les vrais progrès ne peuvent venir que de la sanction apportée par le chantier à des idées nouvelles, sans omettre d'analyser les sources de difficultés aussi bien que les enseignements tirés d'une réussite.

Jacques FOUGEROLLE,

Gérant-Directeur Général des Entreprises Boussiron.
Ancien Président de la Société des Ingénieurs Civils de France.
Président honoraire de la Chambre Syndicale
des Constructeurs en Ciment Armé de France.

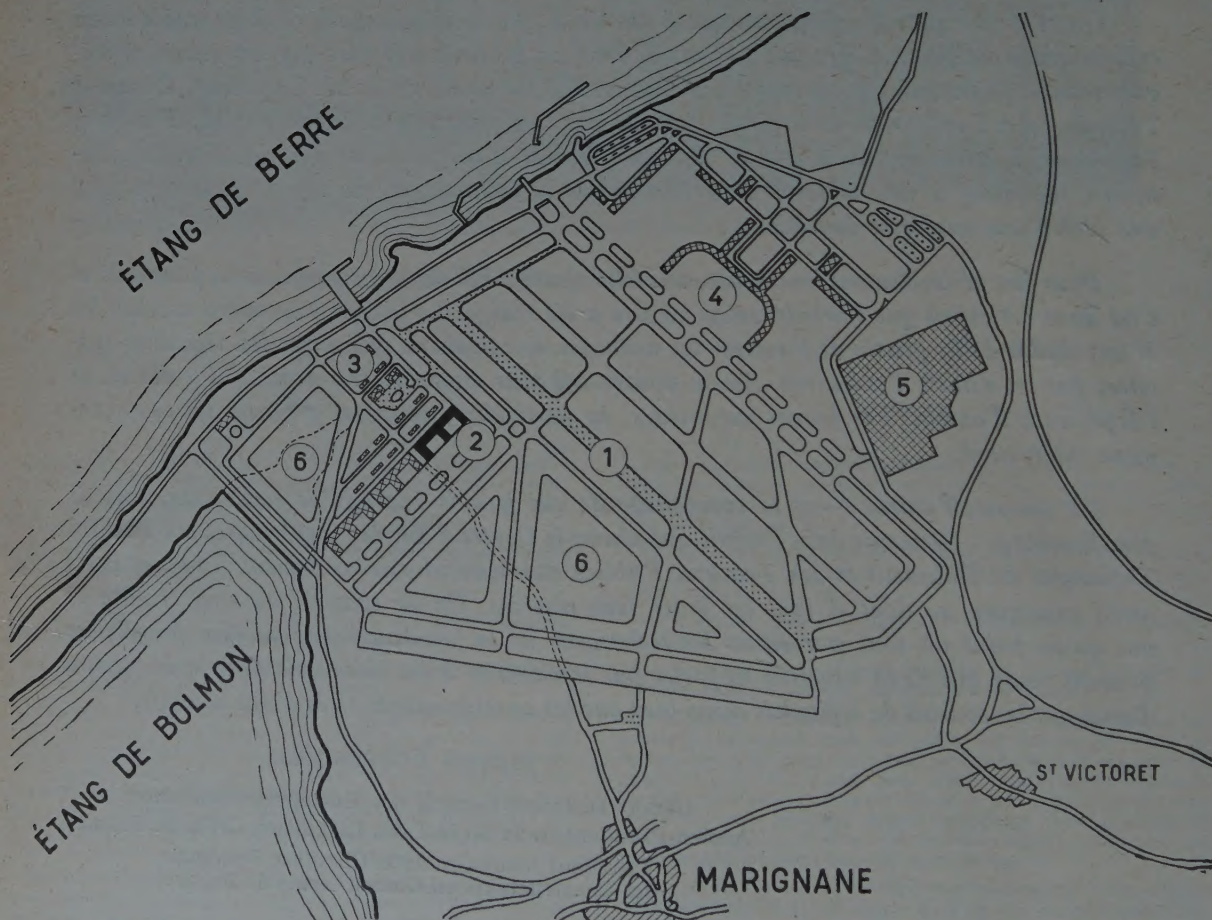
EXPOSÉ DE M. ESQUILLAN

INTRODUCTION

A. — SITUATION

L'Aéroport de Marseille est situé sur le territoire de la commune de Marignane en bordure de l'étang de Berre (fig. 3) et à environ 30 km du centre de la ville. Exploité depuis 1934 par la Chambre de Commerce de Marseille il se développe de façon constante suivant un plan de « masse » (fig. 2),

approuvé en 1949 par le Ministre des Travaux Publics, plan qui sert de base à sa reconstruction et à son équipement. A l'ouest du terrain un Centre d'entretien comportera des ateliers, des magasins et des hangars parmi lesquels sont prévus trois groupes de hangars doubles en béton armé.



- 1. Piste existante;
- 2. Hangars béton armé;

- 3. Hangars métalliques;
- 4. Aérogare;

- 5. S. N. C. A. S. E.;
- 6. Parkings.

FIG. 2. — Plan de masse.

B. — HISTORIQUE



Fig. 3. — Plan de situation.

En 1941 la Chambre de Commerce de Marseille concessionnaire de Marignane proposait l'extension de cet aéroport par la construction d'un grand hydro-aérodrome situé sur la rive nord de l'étang de Berre, dans la plaine comprise entre l'embouchure de l'Arc (fig. 3) et les Salins du Midi. Elle en avait établi et fait approuver le plan de masse. Dans le cadre de ce plan elle avait lancé le projet de construction de grands hangars de 100 m × 60 m de la classe internationale et de darses abris pour hydravions. Le 14 octobre 1942, préparé par le Secrétariat d'État à l'Aviation — Direction de l'Infrastructure — un concours pour une seule cellule (fig. 4) fut ouvert entre tous les constructeurs.

Parmi toutes les propositions présentées en janvier 1943 — béton armé, béton précontraint, charpente métallique — celles remises par les **Entreprises Boussiron** furent, après examen d'une Commission, jugées les meilleures, tant au point de vue économique que technique.

Les travaux projetés ne pouvant être exécutés par suite des circonstances, une convention fut passée le 1^{er} octobre 1943 entre l'Entreprise et le Secrétariat d'État à la Défense Aérienne dont certains services repliés à Marseille avaient été chargés par la Chambre de Commerce de la mise au point du marché. Celui-ci comportait la construction de quatre cellules rectangulaires de 100 × 60 × 15 m utiles. La porte basculante de 100 × 15 présentée par l'entreprise au projet de janvier 1943 et qui offrait l'avantage de supprimer tout arc frontal indépendant de la couverture, était remplacée à la demande de l'Administration par des portes en panneaux multiples roulant au sol. La surface cou-

verte en plan, y compris les espaces entre les cellules et les appentis, atteignait :

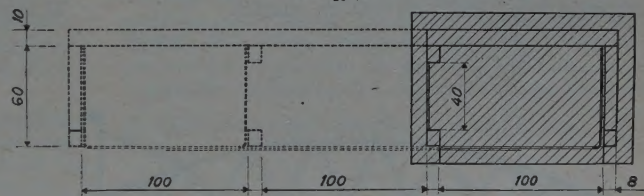
$$445,16 \times 71,74 = 32\,000 \text{ m}^2.$$

La soumission restait valable jusqu'à l'expiration d'un délai de 12 mois à partir de l'acte officiel de cessation des hostilités. L'Entreprise devait préparer la note de calculs et la série complète des dessins de l'ouvrage.

Pendant les années 1944 et 1945 le projet d'exécution fut donc préparé en liaison avec les divers Services intéressés. Il fut procédé à des études du sol. Une étude architecturale, sous la direction du Maître **Auguste Perret**, chargé d'harmoniser entre elles les diverses constructions prévues sur l'Aéroport, conduisit à quelques modifications, notamment pour les appentis. Au début de 1946 le projet était terminé pour les hangars quadruples (fig. 4).

Après la Libération, le projet de l'Aéroport de l'Arc fut abandonné. La convention devant prendre fin le 1^{er} juin 1947, le projet fut racheté par l'État. La Chambre de Commerce obtint pour Marignane l'approbation d'un nouveau plan de masse établi par le Service Spécial des Bases Aériennes des Bouches-du-Rhône en accord avec elle. Elle reprit alors à son compte la construction du premier groupe de deux cellules du hangar dont le Ministère lui remit les dossiers.

Commencé en 1949, ce premier groupe est terminé à l'heure actuelle à l'exception de ses aménagements (portes, cloisons, etc.) (voir couverture et fig. 117).

Projet de concours de 1942
Plan

Projet d'exécution de 1946

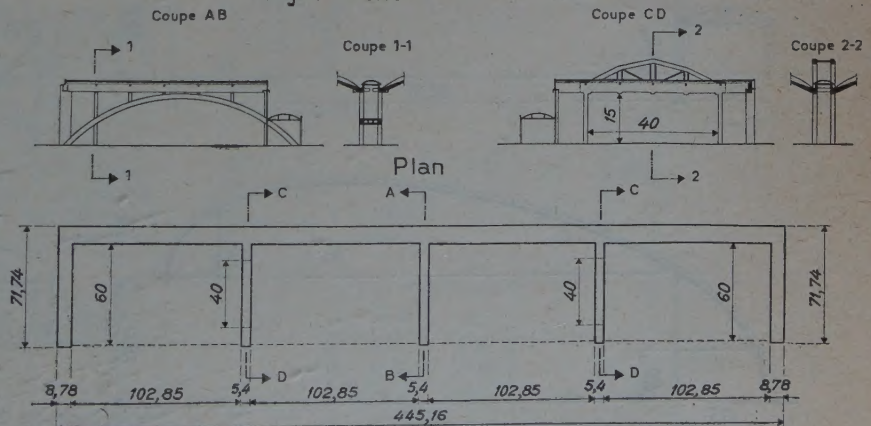


FIG. 4. — Aéroport de l'Arc. Projets de hangars.

PREMIÈRE PARTIE

CONCEPTION ET CARACTÉRISTIQUES DU PROJET

I. — CHOIX DE LA SOLUTION

A. — CONDITIONS IMPOSÉES

Le concours de 1942 portait sur « la construction d'un hangar en charpente métallique, en béton armé ou en béton précontraint, de 100 m d'ouverture libre, 60 m de profondeur libre entre porte et mur postérieur, 15 m de hauteur libre, fermé par un mur fixe arrière, deux cloisons latérales et une porte. Cette cellule était destinée à être ultérieurement associée à deux autres cellules du même type de manière à réaliser un hangar à trois cellules en file, dont elle constituait un élément d'extrémité (fig. 4).

Pour permettre de faire communiquer entre eux les différents hangars accolés, une des deux cloisons latérales devait pouvoir être démolie sur une largeur minimum de 40 m de manière à ne laisser subsister que des appuis placés dans les parois antérieure et postérieure. Sur la façade arrière régnait un appentis à usage d'atelier et de bureau de 10 m de profondeur et de 6 m de hauteur de plafond. A la face latérale était accolé un autre appentis de 8 m de largeur comportant un rez-de-chaussée et un étage de 3,50 m chacun.

Il était précisé « que la couverture du hangar serait la plus légère possible sous réserve, d'une part, d'assurer une protection efficace des aciers, d'autre part, d'assurer une étanchéité complète contre la pluie et la neige, de préférence sans l'interposition d'une chape ».

B. — CONCEPTION TECHNIQUE DU PROJET

1° Avant-projets et précédents.

L'obligation du concours initial de ménager des passages de 40 m entre cellules ne laissait qu'une seule file d'appuis continus sur le pignon arrière. Cette possibilité jointe à celle de franchir les 60 m de profondeur par des voûtes que nous avions déjà réalisées était tentante. Aussi avons-nous d'abord orienté nos premières études sur les schémas de la figure 5. Or le fronton de 101 m de portée au-dessus des portes, qui recevait la charge des voûtes de 60 m se révélait de réalisation difficile et onéreuse.

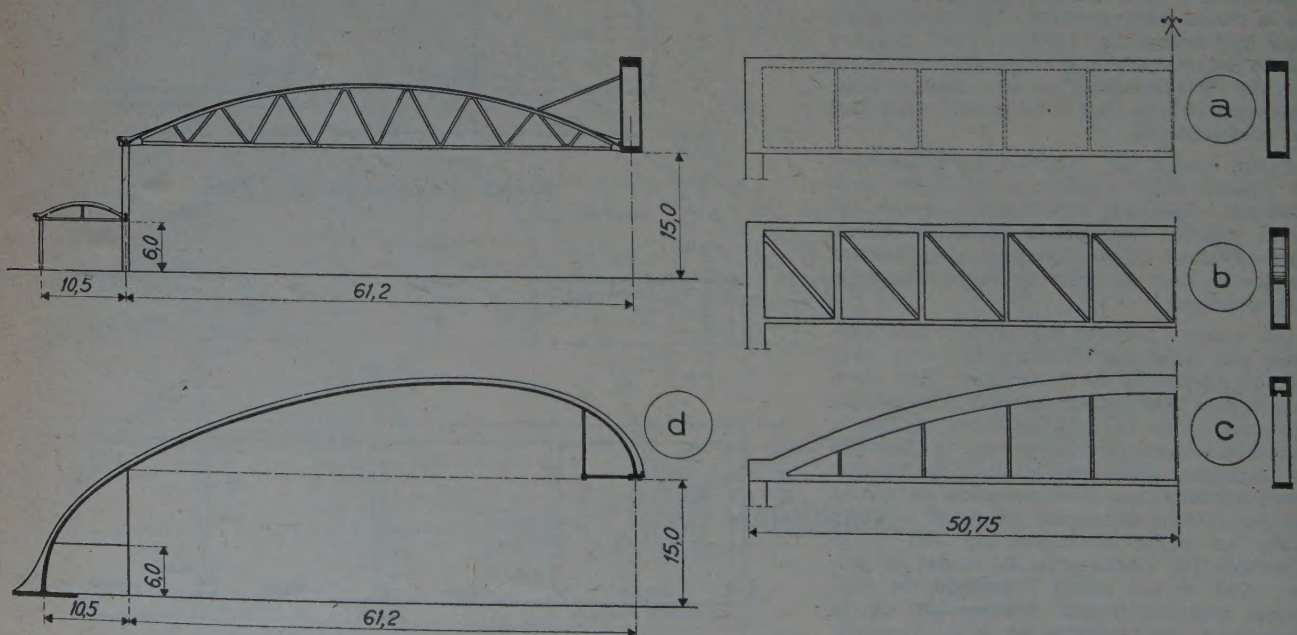


FIG. 5. — Schémas d'avant-projet.

Une poutre en caisson (fig. 5 a), indépendamment d'une charge permanente propre considérable, se prêtait mal à l'utilisation d'aciers à haute limite de rupture qu'il fallait mettre en tension préalable afin d'éviter des déformations inadmissibles. Pour gagner du poids les âmes pleines devaient être d'épaisseur variable et travailler sous des contraintes de cisaillement élevées, ce qui n'était pas indiqué au bord de la mer.

L'emploi d'une poutre à treillis (fig. 5 b) aurait levé en partie les deux difficultés précédentes mais l'aménagement des nœuds est délicat dans un tel système.

Nous nous sommes alors orientés vers un arc qui, en béton armé, constitue toujours — lorsqu'il peut être employé — le système porteur idéal pour le franchissement des grandes portées. Un bow-string (fig. 5 c) permettait, grâce au décintrément classique par verins de clef, de compenser toutes les déformations du béton et des aciers. Cependant, un tel arc supportant son poids propre plus la moitié de celui de la couverture engendrait une poussée de l'ordre de 3 200 t ! À titre comparatif nous rappelons que sous les charges permanentes un arc du pont-route de 161 m de La Roche-Guyon ⁽¹⁾ subissait une poussée de 1 475 t et un arc de 124 m du viaduc de la Méditerranée ⁽²⁾ 2 076 t. Cette solution conduisait au cumul des quantités de béton et d'armatures de la couverture de 60 m et de celles de son système porteur. En effet ce bow-string nécessitait à lui seul des quantités atteignant les trois quarts de celles de cette couverture et ne servait qu'à porter celle-ci. La dépense de matériaux apparaissait donc considérable. Pour la réduire nous avons envisagé un système de couverture autoportante du côté du fronton, retombant au sol à l'arrière et englobant l'appentis (fig. 5 d). Du côté de l'avant des portes cette structure présentait les mêmes inconvénients que les poutres pleines en ce qui concerne l'utilisation d'aciers spéciaux et les cisaillements élevés dans le voile.

Enfin, en se plaçant au point de vue du mode d'exécution, toutes les ossatures précédentes étaient entachées d'un vice fondamental : elles ne se prêtaient pas à une construction par phases successives répétées. Il fallait exécuter la poutre fronton au préalable, la soutenir par des bigues ou par l'échafaudage maintenu en place, pour qu'elle puisse résister aux effets du vent malgré son isolement et pour qu'elle acquière sa pleine résistance pendant l'exécution des voûtes de 60 m par échafaudages roulants.

En contre-partie nous ne trouvions aucune compensation sur les quantités de matériaux, bien au contraire. Dans ces conditions il valait peut-être mieux perdre le bénéfice de la file de montants du pignon arrière de 100 m considérée comme appui dans le sens de la portée de 60 m et examiner le franchissement sur 100 m.

En 1942 une telle ouverture libre constituait un nouveau pas à franchir pour les grandes portées de couverture en béton armé avec tirants. De quels précédents dispositions-nous à l'Entreprise (fig. 6) ? Les formes et les dispositions avaient évoluées depuis les hangars de 40 à 50 m de portée avec tirants armés en aciers doux et simple nervure de la période 1923-1929, en passant par les hangars construits de 1935 à 1938 de 60 à 75 m de portée avec tirants en acier mi-dur étirés et fermes triangulées pour aboutir en 1938-1939 au hangar record du même type, de 80,85 m de portée qui servait de hall de montage à la S. N. C. A. S. E. à Marignane, hangar qui fut détruit en 1944.

Guidés par l'expérience acquise au cours de ces réalisations antérieures nous aurions pu extrapoler les dispositions adoptées pour le hangar de 80,85 m. Elles semblaient

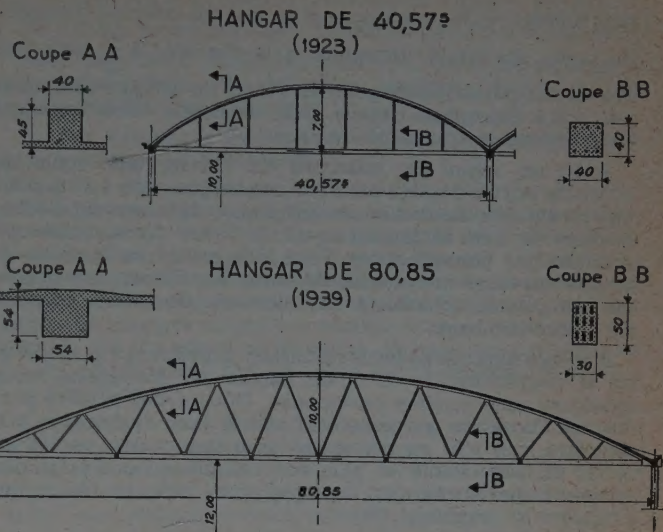


FIG. 6. — Types de voûtes de hangars : 1923, hangar du Bourget ; 1939, hangar de la S. N. C. A. S. E. à Marignane.

encore viables pour une portée de 100 m, tout en constituant à notre avis une limite pour un tel système. Les treillis des fermes deviennent très longs : pour éviter le flambage il faut, ou accroître leur section, ou transformer celle-ci en lui donnant l'inertie voulue sans aggraver le volume de matière. Afin de ne pas augmenter l'espace inutile compris entre la voûte et les tirants, de réduire le développement de la voûte et de conserver une certaine harmonie de proportions entre les hauteurs au-dessous et au-dessus du tirant, on est conduit avec des portées croissantes à surbaisser de plus en plus les couvertures. Les contraintes accrues permises par la qualité sans cesse améliorée des aciers livrés par les Forges permettent d'ailleurs de réduire les flèches sans dépense exagérée. Le diagramme de la figure 7 est typique à cet égard.

Il représente l'accroissement du rayon $R = \frac{a^2 + f^2}{2f}$ du cercle

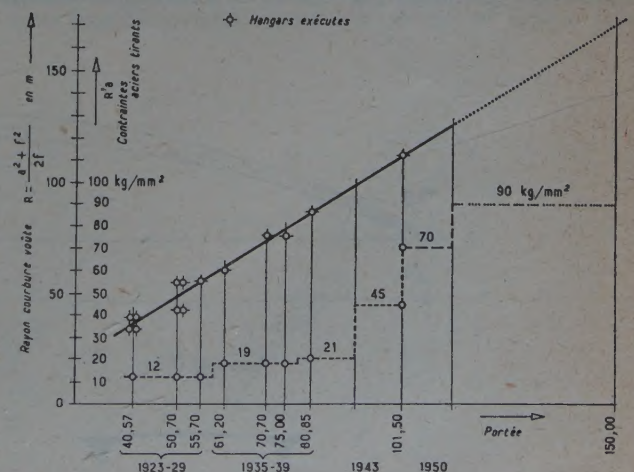


FIG. 7. — Diagramme d'accroissement du rayon du cercle de courbure des voûtes et de la contrainte des aciers des tirants depuis 1923.

⁽¹⁾ S. BOUSSIRON et N. ESQUILLAN, Le nouveau pont en béton armé à tablier suspendu de 161 m de portée sur la Seine à La Roche-Guyon (S.-et-O.), *Génie Civil* des 9 et 16 février 1935.

⁽²⁾ N. ESQUILLAN, La reconstruction du viaduc de la Méditerranée sur le Rhône entre Givors et Chasse, *Travaux*, mai et juin 1951.

fictif passant par les naissances et la clef (peu différent d'ailleurs du rayon du cercle osculateur à la clef égal à $\frac{a^2}{2f}$ pour une couverture parabolique) pour les voûtes de hangars exécutées par notre Entreprise depuis 1923, ainsi que l'accroissement corrélatif de la contrainte des aciers.

Avec un rayon de courbure de 114 m, une voûte de 100 m de portée devient plate sur une longueur de 4,27 m pour une erreur de construction du coffrage ou de tassement d'échafaudage de 2 cm seulement suivant le rayon. Nous aurions pu annihiler les conséquences d'une telle erreur en ajoutant de petites nervures intermédiaires entre les fermes principales ou des pannes constituant des éléments de raidissement et de contre-flambage.

Bien que tous ces palliatifs rendissent possible la transposition de la couverture de 80 m du hangar de Marignane, nous trouvions cette solution paresseuse. Nous avons préféré profiter de l'occasion qui nous était offerte pour rechercher une structure, qui tout en convenant pour une portée de 100 m, serait surtout valable et plus économique encore pour des portées supérieures, par exemple pour celle de 150 m qui complète le graphique (fig. 7).

2° Principe du système de couverture.

L'examen critique des exécutions antérieures ainsi que des avant-projets (fig. 5) nous a orientés vers une utilisation intégrale de la matière. Une couverture autoportante réalisée par des arcs de forme appropriée qui constitueraient à la fois le système « porteur » et le système « couvrant » nous a paru intéressante à étudier. Ces arcs devaient permettre :

- D'utiliser à plein toutes les qualités des matériaux disponibles en 1942;
- De supprimer toute nervure ou triangulation;
- De diviser les forces entre plusieurs tirants afin de bénéficier de répétitions et de réemplois, et de rendre aisées les mises en tension;
- D'être d'une exécution relativement facile.

Des voûtes multiples à double courbure de 100 m de portée fournissent une solution satisfaisante du problème ainsi posé. Elles allient la légèreté à la rigidité. La transmission des com-

pressions est mieux assurée sur toute la largeur comprise entre deux tirants que dans une voûte à simple courbure. L'inertie considérable de « l'onde » ainsi constituée permet de résister aux forces dans toutes les directions. Enfin, même avec des hourdis très minces, le risque de flambement est écarté grâce à cette double courbure. Indépendamment des qualités de résistance d'une telle couverture il convient de noter aussi l'amélioration de l'étanchéité : le voile à double courbure ne présente, par définition, aucune partie droite vulnérable au retrait, en outre il est comprimé dans deux directions. Sa sensibilité à la fissuration est donc moindre que celle d'une voûte ordinaire à génératrices rectilignes.

3° Choix des dispositions de la couverture.

La forme et les dispositions des arcs ont été déterminées pour réduire les contraintes au minimum, assurer une grande raideur et faciliter l'exécution au chantier.

Nous avons adopté pour **directrice** le funiculaire des charges permanentes passant par les centres de gravité des différentes sections. Afin de conserver une courbure constante permettant l'utilisation de coffrages identiques en dehors des retombées nous avons remplacé la courbe ainsi obtenue par des arcs de cercle de 114 m de rayon entre deux tympans raidisseurs successifs. (Détail A, p. 839.) La différence entre les deux tracés n'excède pas 6 mm.

Comme **génératrice** nous avons d'abord envisagé des profils en onde de 2,50 m de hauteur à la clef s'aplatissant de façon continue et progressive pour se transformer en ligne droite aux naissances, chaque fibre élémentaire constituant un funiculaire des charges (fig. 8). Cet avantage était contrebalancé par deux inconvénients :

- La décroissance de hauteur de l'onde était plus rapide que celle de la courbe enveloppe des moments fléchissants dans la région des reins. Il en résultait une mauvaise utilisation de la matière;
- L'exécution d'un hourdis mince à courbure variable introduisait des complications de coffrage et de ferrailage.

Malgré les difficultés qu'une telle solution soulevait vers les retombées nous nous sommes donc fixés sur une section de profil constant sur plus des 8/10 du développement de la voûte.

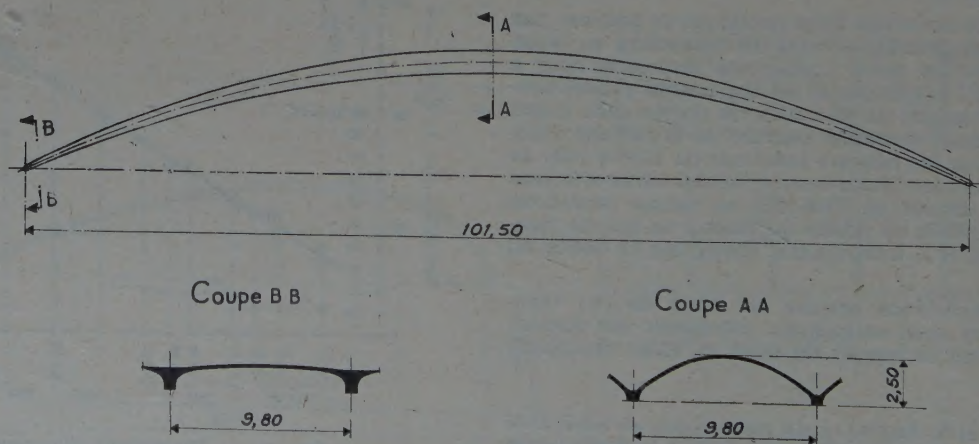


FIG. 8. — Onde à hauteur variable.

a) Partie courante de l'onde. Talons et tympans.

L'intervalle entre deux tirants étant ainsi couvert par une onde autoportante, quel devait être le profil de celle-ci?

Une section trapézoïdale (fig. 9 a) eût été possible mais nous avons jugé préférable d'éviter les angles vifs dans une couverture dont l'étanchéité est demandée au béton seul. Les moments secondaires dans la section eussent été plus grands au voisinage des angles qu'en aucun point de la courbe retenue (fig. 9 b). De plus l'accentuation des pentes eût

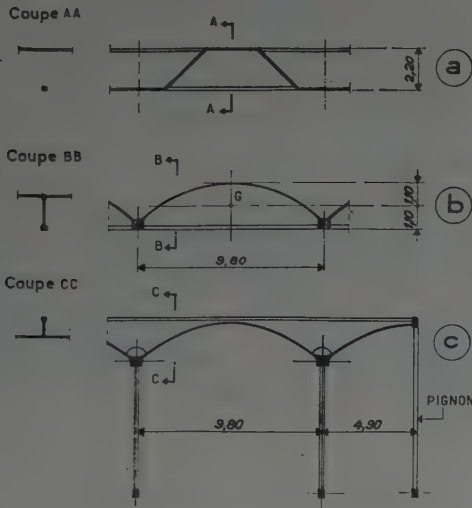


FIG. 9. — Avant-projets de section transversale.

amené des difficultés d'exécution : il eût fallu recourir à des doubles coffrages, toujours onéreux.

La section de l'onde fut donc aménagée de la façon suivante (fig. 9 b et coupe EF, p. 839) :

Un hourdis mince en arc de cercle en constitue la majeure partie.

L'intersection de deux ondes successives forme une noue renforcée par un « talon », masse de béton de section trapézoïdale, qui joue un quadruple rôle :

- Il confère à la section transversale l'inertie requise ;
- Il place favorablement le centre de gravité à mi-hauteur ;
- Il contribue à l'indéformabilité horizontale des naissances de l'onde, en particulier pendant l'exécution par tranches successives ;
- Aux naissances de l'onde il facilite la concentration des forces vers les tirants.

Comme nous désirions que chaque onde fonctionne comme un véritable arc de 100 m de portée, dont nous connaîtrions bien les efforts principaux, nous avons cherché à stabiliser la forme de la section transversale et à la rendre indéformable. Des tirants et nervures étudiés à cet effet furent ensuite transformés en tympans raidisseurs minces reprenant tous les cisaillements dus aux efforts secondaires de flexion transversale de l'onde, efforts engendrés par cette forme particulière de section (fig. 40 et 41).

Disposés à l'extérieur des ondes ces tympans auraient facilité le coffrage de l'intrados de la couverture (fig. 9 c). Pour plusieurs raisons, parmi lesquelles la nécessité dans ce cas de terminer au droit des pignons la couverture par des demi-ondes, ces tympans extérieurs furent éliminés et remplacés par des tympans intérieurs. Pour qu'ils soient tous identiques, leur plan a été choisi normal à la fibre moyenne de l'onde (fig. 30, détails A et B).

b) Retombées.

Cette onde de section constante, idéale pour un arc encastré dans de véritables culées au sol, suscitait des difficultés traitées en bow-string. Il fallait parvenir à concentrer toutes les réactions en un point, au droit de l'appui poteau-tirant, sans introduire de moments de flexion excessifs dans l'ensemble de la couverture ou d'efforts locaux inadmissibles.

La figure 10 a montre qu'en sectionnant l'onde de hauteur constante par un plan vertical passant par l'axe des poteaux, on introduit un couple égal à $H \times \frac{h}{2}$. Pour recentrer les forces

il vient aussitôt à l'esprit de créer une large poutre extérieure (CDEF) à mi-hauteur, englobant les culots d'ancrage des tirants (fig. 10 b). Les tirants traversent alors le chéneau ménagé entre deux ondes successives, ce qui est un inconvénient. En donnant une forme particulière aux culots (fig. 10 c) et en ajoutant un poteau vertical (ou oblique) on aurait pu créer une culée extérieure stable recevant la poussée de chaque fibre.

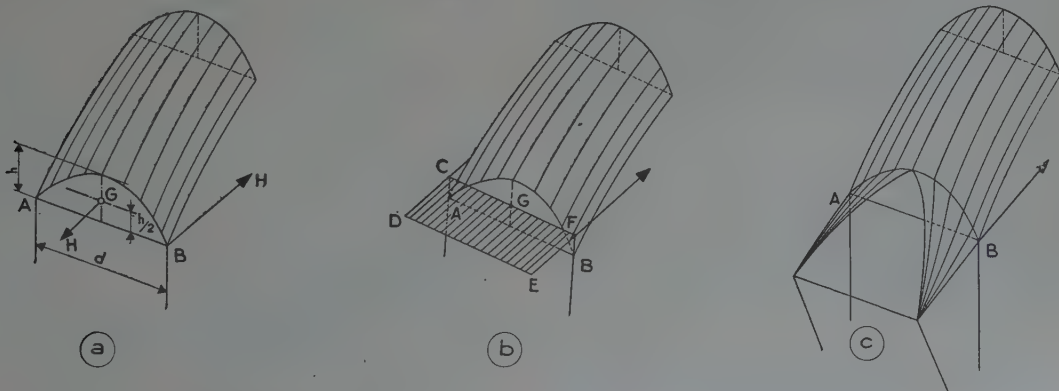


FIG. 10. — Avant-projets de retombées extérieures.

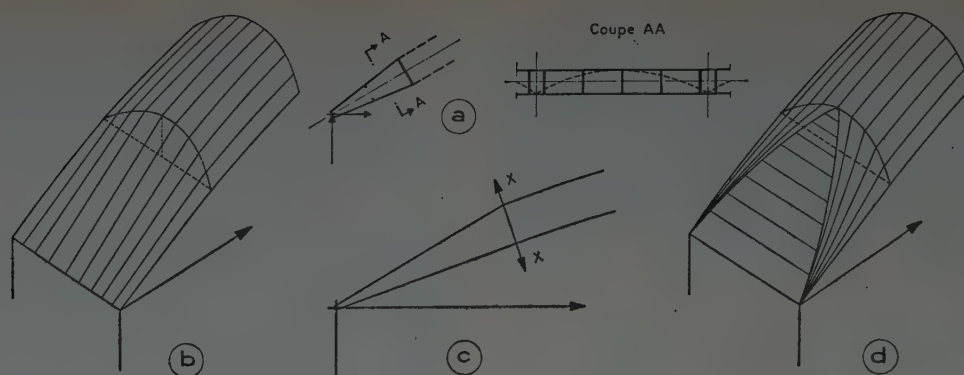


FIG. 11. — Avant-projets de retombées intérieures.

Ces solutions n'étaient pas élégantes. Elles allaient à l'encontre du but que nous nous étions proposé : la couverture devait se porter elle-même et transmettre ses efforts aux tirants, sans béton extérieur inutile, par une poutre de retombée appropriée et incorporée comme dans une voûte plate habituelle. Comment constituer cette retombée pour qu'elle soit autoportante et n'engendre pas d'efforts parasites importants dans l'onde de 100 m? Un caisson nervuré (fig. 11 a) ou cloisonné pouvait résoudre le problème. Toutefois une telle réalisation était coûteuse à cause du coffrage et de la matière perdue : le hourdis inférieur ne sert pour la plus grande partie qu'à assurer la symétrie de la section (indispensable dans cette solution) et à lui donner une inertie suffisante pour supporter flexions ou torsions. Nous avons alors essayé des conoïdes (fig. 11 b) ou des combinaisons de plans et de conoïdes sur la hauteur de la poutre retombée (fig. 11 d). Toutes présentaient des changements brusques de direction (fig. 11 c) générateurs de moments fléchissants atteignant dans l'arc quatre fois le total de ceux dus au vent, à la neige et au retrait.

Il fallait supprimer les jarrets tout en conservant le funiculaire des charges passant par l'axe des articulations théoriques de naissances et le centre de gravité de la section de clef comme axe OG des centres de gravité de toutes les sections transversales y compris celles de la retombée (fig. 12 a). La condition d'absence de brisures ou de courbures inverses imposait pour tracé de la fibre extrême d'intrados une limite inférieure constituée par la tangente OT menée de l'axe de l'articulation théorique de naissance au cercle extrême d'intrados (fig. 12). Les cercles passant par O et tangents au delà de T, en T₁ par exemple, auraient aussi pu convenir s'ils n'avaient entraîné des hauteurs de retombée trop grandes. Pour éviter tout jarret dans les fibres d'extrados, celles-ci, dans la portion d'onde de hauteur OT₁, sont des cercles passant par l'axe O₁O₂ et tangents aux fibres de l'onde courante suivant le profil S₁S₂ (fig. 12 c).

Cette forme particulière de retombée engendre des poussées au vide vers le haut pour les fibres situées au-dessus de la ligne du centre de gravité puisque la courbure est augmentée par rapport au tracé funiculaire des charges permanentes. Par contre, au-dessous, les fibres ne sont plus « portées » dans le sens longitudinal et ont tendance à pousser vers le bas. Transversalement l'équilibre se rétablit dans chaque section au prix de moments de flexion et de torsion.

Pour conduire toutes les compressions de la section S₁S₂ aux tirants et aux poteaux, nous avons admis que la transmission s'effectuait suivant des trajectoires paraboliques en projection sur le plan O₁O₂G (fig. 12 b). Ces trajectoires se rap-

prochent d'ailleurs de celles connues dans une poutre voile plane au voisinage d'appuis ayant une largeur égale au dixième de la portée de la poutre-cloison. Chaque élément d'onde courante tel que ds vient ainsi prendre appui sur le tirant par un fuseau de largeur décroissante et d'épaisseur croissante de telle sorte que le produit de l'épaisseur e par le développement ds reste sensiblement constant. Par exemple, pour une demi-onde, nous obtiendrions :

en S ₁ S ₂	6 × 500 = 3 000 cm ²
en U ₁ U	8 × 375 = 3 000 cm ²
en OV	60 × 50 = 3 000 cm ²

Chaque élément d'onde découpé dans cette zone sera en équilibre sous les forces longitudinales appliquées tangentiellement au feuillet moyen du hourdis et à la parabole fictive qui conduit les forces à l'appui. Il en résulte deux forces. Une, normale au hourdis, dirigée vers le haut dans la portion de voûte au-dessus du centre de gravité de l'onde (et en sens inverse au-dessous de ce centre de gravité) et un effort tangentiel dirigé vers le sommet de l'onde. Ces forces font naître soit des flexions dans les sections transversales, soit des cisaillements reportés au tympan S₁S₂T et à la poutre sablière qui absorberont toute la flexion de la tranche de hourdis correspondante.

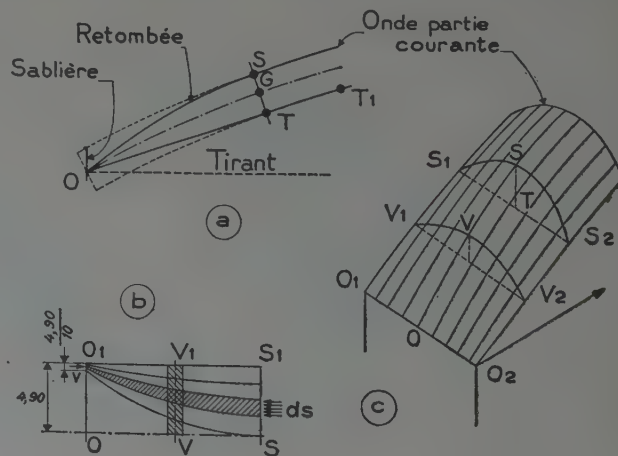


FIG. 12. — Projet de retombée.

c) Qualité des matériaux. Tirants.

Toutes les dispositions précédentes devaient permettre de ne pas dépasser les limites permises par la qualité des matériaux tels qu'on pouvait les obtenir en 1943.

Étant donné la baisse de qualité des ciments à cette époque nous avons dû nous limiter à 70 kg/cm^2 pour la contrainte maximum d'un béton vibré dosé à 400 kg/m^3 . Avant 1939 un hangar de cette portée aurait pu être exécuté avec une contrainte de base de 90 kg/cm^2 qui aurait permis une légère réduction des dimensions des pièces de l'ossature.

Quant aux aciers, en 1943, les Forges ne livraient que de la nuance mi-dure 55/85. Pour les tirants d'un hangar de cette portée la contrainte de 21 kg/mm^2 permise avec cet acier était insuffisante. L'emploi de fils tréfilés tels qu'on les trouvait alors pour le béton précontraint fut aussi écarté par suite de leur prix prohibitif. À notre demande les Aciéries de Longwy voulurent bien mettre au point un acier Martin dit « Spécial S » de 90 kg/mm^2 de limite de rupture et 55 kg/mm^2 de limite élastique, livrable en couronnes de fil machine de 10 mm de diamètre. Cette qualité imposait une mise en tension préalable des tirants. À cet effet, les extrémités des barres logées dans des culots d'ancrage étaient terminées par un bouclage circulaire qui embrassait le vérin de mise en charge (fig. 13). Le grand rayon des cercles réduisait la pression sur le béton à des valeurs admissibles. Il évitait aussi de compter sur l'adhérence des barres dont le diamètre se trouverait diminué par l'effet de la contraction transversale.

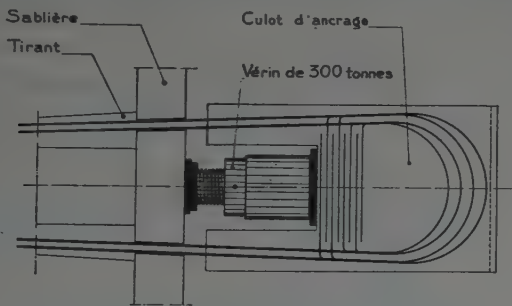


FIG. 13. — Ancre des aciers des tirants (projet de 1943).

C. — VÉRIFICATION DE LA VALIDITÉ DE LA CONCEPTION DU SYSTÈME

La structure spatiale ainsi conçue présentait une complexité telle, surtout vers les retombées, qu'elle se prêtait mal à un calcul rigoureux.

Théoriquement on aurait pu envisager de la considérer comme un voile mince fonctionnant en coque sans flexions locales. Dans ce cas les équations d'équilibre d'un élément isolé (fig. 14) sous les forces extérieures F , les contraintes normales N_g suivant les génératrices, les contraintes normales N_d suivant les directrices et les contraintes de cisaillement θ peuvent être posées sans difficultés insurmontables. Leur traduction en fonction de la forme de la coque (rayons de courbure principaux) et de la direction des forces ne soulève que des problèmes relevant des mathématiques et de la statique. Ensuite la seule solution correcte pour chaque cas de charge serait de trouver l'ensemble des déformations et contraintes correspondantes qui rendent minimum l'énergie interne de la totalité de l'onde et de ses retombées. En l'occurrence il était pratiquement impossible d'aborder ainsi la ques-

tion. En supposant que l'on puisse écrire les systèmes d'équations différentielles correspondants et qu'on dispose d'assez de temps pour les résoudre, cette résolution exigerait des simplifications telles et des conditions aux limites sur le contour si arbitraires que l'on ne pourrait accorder aux résultats une valeur supérieure à ceux déduits de la résistance des matériaux classique. Pour pouvoir appliquer celle-ci il convenait de tenir compte de flexions transversales modérées dans le voile et d'éviter des déformations exagérées de ce voile. En particulier le déplacement latéral (horizontal) des talons de l'onde devait rester suffisamment petit pour ne pas altérer de façon appréciable la forme transversale de la section et ne pas introduire de forces importantes. C'est le calcul de ce déplacement qui a imposé l'espacement des tympans raidisseurs.

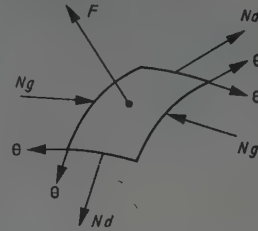


FIG. 14. — Équilibre simplifié d'un élément de voile.

Moyennant ces précautions, nous avons considéré comme valable la loi de Navier pour la répartition des actions moléculaires sur une section transversale, cette hypothèse se justifie entre autres par le rapport de 1/50 de la hauteur de la section à la portée et par les faibles contraintes qui permettent d'envisager le comportement élastique du système. Elle présente l'avantage supplémentaire d'une claire vision des forces principales calculées comme dans un arc.

La construction de la couverture de ces hangars, de portée inusitée, avec des sections non prismatiques d'un type non encore appliqué à cette échelle, méritait que les dispositions et les dimensions auxquelles nous étions arrivés fussent contrôlées. Dans quelle mesure les hypothèses de calculs simplifiées que nous venons d'exposer, s'écartaient-elles de la réalité? Nous n'avons voulu négliger aucun des moyens propres à nous conduire à plus de certitude. Dans ce cas, rien ne vaut l'examen des faits et la méthode expérimentale, appliquée à un modèle réduit judicieusement réalisé, est la seule qui permette d'acquiescer une meilleure idée de la valeur et de la distribution des forces et des contraintes sous différents cas de charge. Il convient toutefois d'opérer avec toutes les précautions requises et d'être circonspect dans l'interprétation des résultats.

Notre bureau d'études étant replié dans le Sud-Ouest, nous ne pouvions recourir que difficilement à des essais par des Laboratoires situés alors en zone occupée et dont l'activité était d'ailleurs en partie réduite. Nous avons donc construit sur le chantier du pont de Saint-Sylvestre, où nous disposions de moyens de mesure et d'auscultation ⁽¹⁾, une onde d'essai en béton armé.

a) Onde d'essai.

L'onde réalisée était la reproduction rigoureuse à l'échelle de 1/5 pour les longueurs, d'une onde courante de la couverture, comprise entre les plans verticaux passant par les axes de deux tirants successifs. Le hourdis avait ainsi 12 mm d'épaisseur et était armé de fils d'acier de 13/10 mm.

⁽¹⁾ N. ESQUILLAN et A. KAMMERER, « Le pont de Saint-Sylvestre sur le Lot », *La Technique Moderne Construction*, t. IV, n° 9, septembre 1949 et 11 novembre 1949.

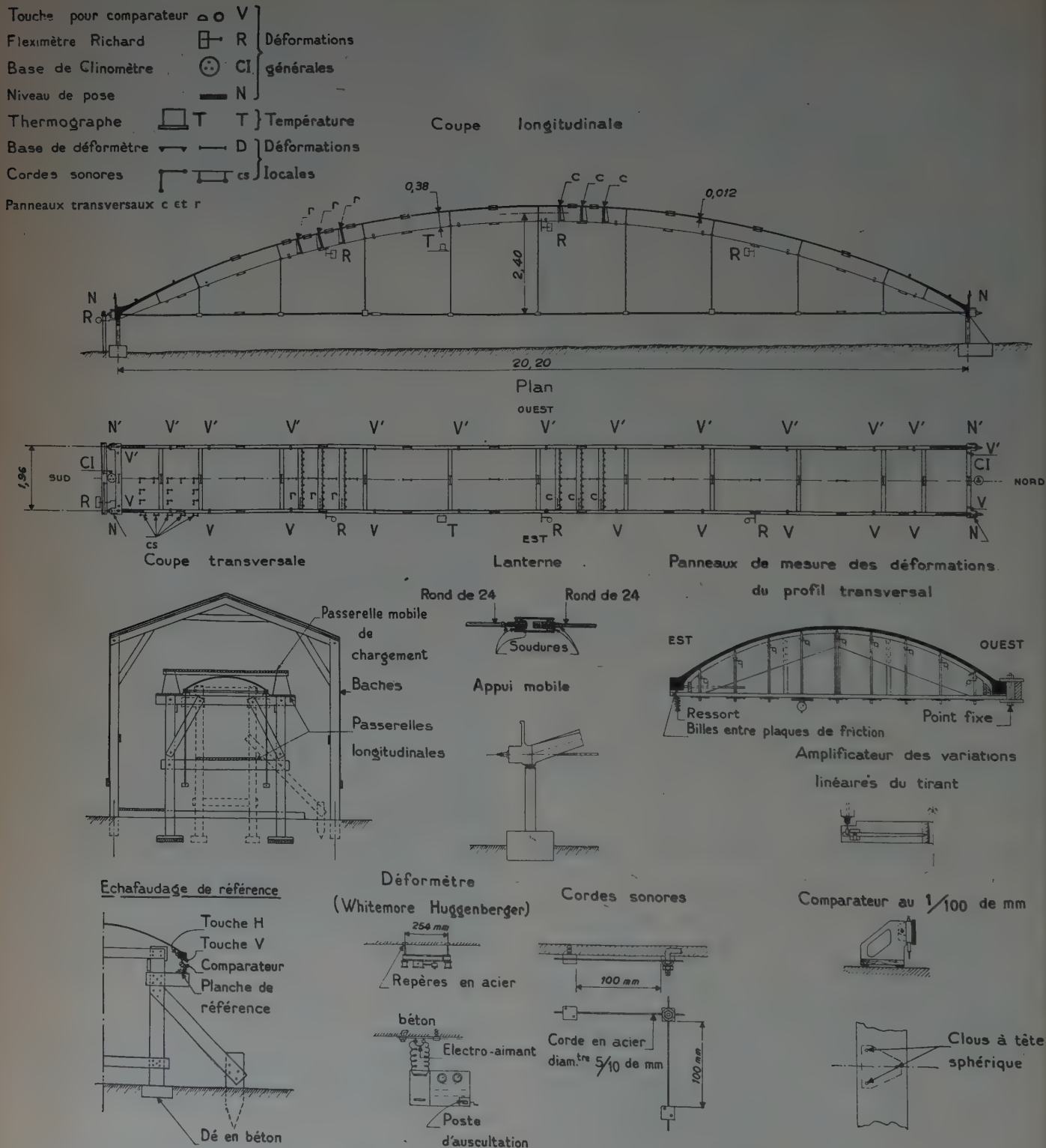


FIG. 15. — Onde d'essai. Disposition et détails des appareils de mesure.

Seuls les tirants différaient de ceux de la voûte réelle. Ils étaient constitués chacun par un rond de 24 mm en acier mi-dur et étaient ainsi surabondants puisque nous désirions surtout pousser l'essai pour l'onde elle-même. D'ailleurs, seule importait la similitude des variations de longueur des tirants. Nous l'obtenions par un artifice. Les tirants comportaient une lanterne différentielle à vis permettant d'allonger ou de raccourcir les ronds de 24 de la quantité voulue.



FIG. 16 a. — Onde d'essai. Ensemble chargé côté sud.

Onde d'essai avec chargement correspondant à 2,25 fois les contraintes maxima de calcul du hangar.

Charge permanente doublée :			
Charge permanente du modèle d'essai.	247 sacs =	12 380 kg	} 35 800 kg
Complément de charge permanente.	306 sacs =	18 300 kg	
Charge permanente.	163 sacs =	8 150 kg	
Surcharge uniforme quadruplée.			



FIG. 16 b. — Sablière sud. Chargement.

La similitude des charges permanentes était respectée grâce à des cubes de béton, de poids déterminé, fixés aux nœuds des tirants et suspentes.

Il convient de noter que l'onde d'essai, isolée de ses voisines et ayant des talons réduits à la demi-largeur des talons reliant deux ondes dans la structure réelle, subissait des efforts supérieurs à ceux qui auraient lieu dans la construction réelle.

Un hangar abritait l'onde pour que les mesures soient moins affectées par les conditions atmosphériques. Les dispositifs expérimentaux comprenaient des appareils pour mesurer les déformations locales et par suite apprécier les contraintes, et pour mesurer les déformations d'ensemble longitudinales, transversales et verticales (fig. 15).

Une étude préalable permit d'établir les rapports entre les diverses grandeurs mécaniques dans l'onde véritable et dans le modèle réduit en fonction du rapport de similitude $\lambda = 5$ des dimensions linéaires. Nous disposions ainsi des relations entre :

- Les dimensions ;
- Les constantes de déformation et les réactions d'appui ;
- Les forces appliquées ;
- Les contraintes ;
- Les déformations ;

Les essais comportèrent après réglage des tirants :

- Des essais sous charges concentrées isolées à la clé et aux reins, avec et sans variations de température extérieure ;
- Des essais sous charges réparties, complètes ou dissymétriques, transversalement et longitudinalement ;
- Des essais pour déterminer l'effet des variations de longueur (température, retrait, déformation différée du béton).

Ces derniers essais étaient facilement réalisables en provoquant des efforts équivalents dans le modèle réduit par allongement ou raccourcissement du tirant.

Tous les essais furent répétés avec retour au zéro chaque fois.

Pour finir, la voûte fut éprouvée sous un chargement et des variations linéaires correspondant à 2,25 fois les contraintes maxima de la couverture réelle. La surcharge ainsi disposée correspondait au double de la charge permanente et à quatre fois la surcharge de neige (fig. 16).

Les dernières mesures effectuées, après avoir constaté que toutes les parties de la structure étaient rigoureusement intactes et sans fissures, nous procédâmes à la démolition de la moitié des tympans. Cette opération se fit malheureusement en restant sous charge par suite de la fatigue des ouvriers qui manipulaient des sacs de ciment depuis 3 mois en pleine chaleur et qui répugnaient à recommencer de nouveaux déchargements et rechargements. L'onde resta 48 heures sans manifester aucun fléchissement sous cette charge statique. Un surcroît de surcharges ayant été entrepris, l'onde s'écroula soudain au droit d'un des tympans supprimé (fig. 17). La rupture paraissait surtout imputable à un léger décalage en hauteur avec variation brusque d'épaisseur révélée par le découpage du tympan dans le hourdis de l'onde, ce qui produisait une brisure et une réduction à moins de 8 mm de l'épaisseur utile en ce point. Les tympans présentaient donc un intérêt supplémentaire du fait qu'ils étaient capables d'annuler les conséquences d'erreurs possibles de construction.

Coupe longitudinale du hourdis au droit de la rupture.

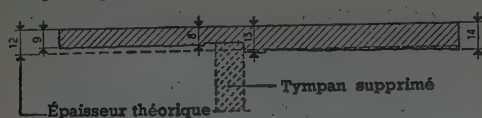


FIG. 17 a. — Onde d'essai. Rupture.



FIG. 17 b. — Vue de dessus du hourdis affaissé.



FIG. 17 c. — Vue de dessous du hourdis affaissé.

b) Résultats et conclusions.

Ces mesures confirmèrent tout d'abord que la constitution de l'onde était telle que tout se passait comme dans un arc à deux articulations sous-tendu, avec application de la loi de Navier pour déterminer les déformations et contraintes principales. Nous donnons pour illustrer ce fait (fig. 18) :

- Le tracé de la déformée calculée et mesurée pour une charge concentrée aux reins ;
- Le tracé de la déformée calculée et mesurée pour une variation de 1 mm de la longueur du tirant pour la voûte non chargée, et pour la voûte en charge sous poids propre et neige.

Les contraintes restèrent rigoureusement proportionnelles aux charges appliquées (fig. 19).

Le dépouillement détaillé des mesures sur les retombées montra que celles-ci étaient surabondantes. Aussi avons-nous pu supprimer un tympan intermédiaire prévu dans la retombée et diminuer les épaisseurs du hourdis lors du projet d'exécution.

En 1946 l'Administration a envisagé de procéder à une étude photo-élasticimétrique pour un contrôle supplémentaire de tous ces résultats. La forme et les dimensions de la voûte se prêtaient mal à un tel essai. La différenciation des isochromes qui permettent de déterminer en chaque point les tensions principales, leur valeur et leur signe nécessite une épaisseur minimum de 4 mm avec les matières transparentes actuellement utilisées. Pour conserver le rapport d'échelle de toutes les dimensions, cette épaisseur conduisait à une onde de 6,70 m de long et 0,67 de largeur. Aucun banc de photoélasticité n'est susceptible de recevoir un modèle de cette dimension. Si l'on réduit la longueur et la largeur, le hourdis restant de 4 mm, l'homothétie de toutes les dimensions n'est plus respectée et

Charge dissymétrique concentrée.

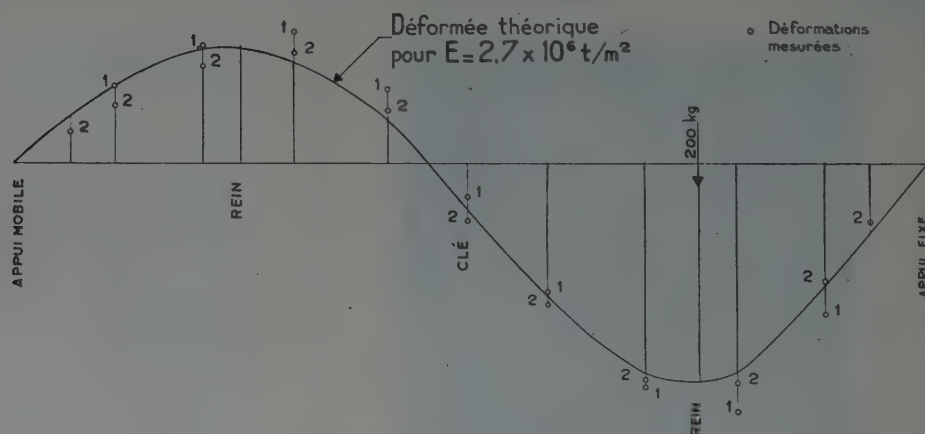
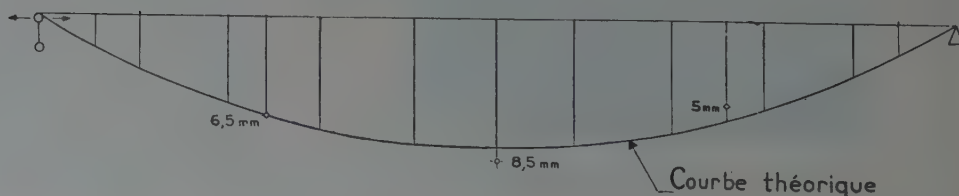


FIG. 18. — Onde d'essai.
Déformations pour deux cas
de sollicitation.

Variation de longueur des tirants $\Delta l = 8$ mm.



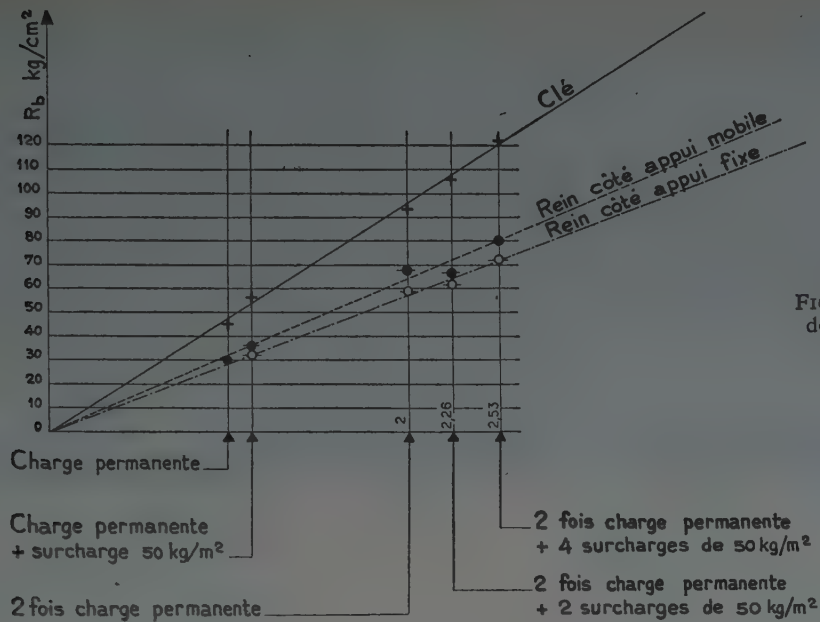


FIG. 19. — Proportionnalité des contraintes aux charges appliquées.

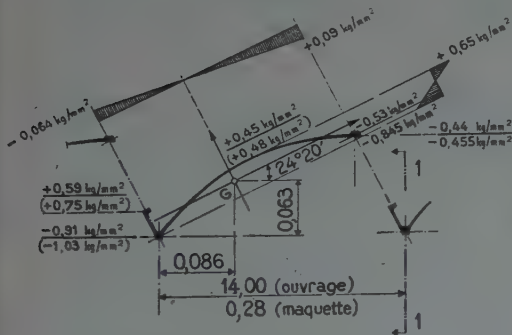
surtout le voile « mince » n'est plus réalisé. L'idée a donc été abandonnée.

À cette époque on ne disposait pas encore de façon courante des appareils d'auscultation à l'aide d'extensomètres à résistance électrique d'un modèle en feuille de cuivre ou d'aluminium de 6/10 mm d'épaisseur par exemple qui aurait permis de réduire à 1 m la longueur de la maquette et une mesure directe des contraintes. C'est ainsi que nous avons pu procéder en 1947 aux Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics à l'étude du fonctionnement de sheds-coquilles de 30 m de portée, vérifier que l'hypothèse de Navier restait satisfaisante et facilitait le calcul de la coque (fig. 20).

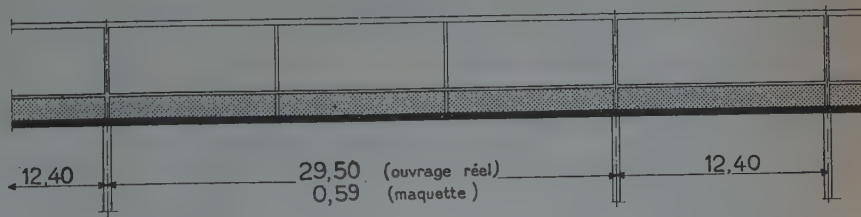
Il semble qu'employée avec prudence cette méthode d'investigation par extensomètres à résistance électrique soit, à l'heure actuelle, la plus commode et la moins onéreuse pour l'étude de couvertures de forme complexe et, dans ce cas, le « dimensionnement expérimental des constructions » ⁽¹⁾ apparaît indispensable pour le contrôle des hypothèses et des calculs.

⁽¹⁾ M. Manuel ROCHA, Cf. « Dimensionnement expérimental des constructions ». *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, février 1952, Théories et Méthodes de Calcul, n° 16.

Coupe sur maquette



Élévation coupe 1 — 1.



Contraintes dans la maquette sous une charge totale de 122,2 kg par mètre linéaire correspondant à 6 100 kg par m² sur le shed réel (charges permanentes et neige à 60 kg/cm²).

NOTA. — Les diagrammes et les chiffres soulignés sont ceux résultant du calcul par la loi de Navier. Les résultats entre parenthèses sont ceux donnés par les mesures.

— tension
+ compression

FIG. 20. — Ateliers de la R. A. T. P. Championnet. Sheds (1947).



Photo Roger Schall, Paris.

FIG. 21.

II. — CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE

A. — DISPOSITIONS GÉNÉRALES

Lorsqu'en 1949 la Chambre de Commerce envisagea la construction des hangars à Mèrignane, elle apporta certaines modifications aux conditions imposées en 1942 et 1946 (fig. 4). Le nombre des cellules était réduit à deux. La hauteur libre sous tirant portée à 19 m, tandis que la largeur entre cellules passait de 5,40 m à 18,70 m pour pouvoir servir d'atelier-magasin et de garage des portes. Les appentis latéraux et postérieurs devaient laisser une largeur disponible de 15 m (fig. 30).

La surface du hangar à deux nefs ainsi constitué et de ses appentis atteint environ 20 000 m². La longueur totale de 253 m de la façade et la hauteur de 32,55 m du sommet des voûtes sont telles que les deux édifices de Gabriel situés place de la Concorde s'inscrivent largement dans l'élévation des hangars (fig. 21).

a) Architecture.

Avant d'aborder la description des divers éléments constitutifs de la structure et les explications concernant les dispositions finalement retenues, nous indiquerons qu'indépendamment des modifications de dimensions dues à l'utilisation envisagée par le Maître de l'œuvre, des améliorations esthétiques avaient été apportées par le Maître Auguste Perret, chargé d'examiner l'architecture du projet.

Nous devons rendre hommage à l'efficacité de son intervention qui, quoique discrète, car il s'est appliqué à ne rien modifier à la conception de l'Ingénieur, a rendu plus harmonieuse une ossature d'apparence trop dépouillée.

Ainsi, nous avons prévu pour la couverture des appentis une voûte à génératrices parallèles aux façades, parce qu'une telle voûte était plus facile à exécuter par échafaudages roulants. Maître Auguste Perret trouvait ces longues voûtes rectilignes « inhumaines » et « hors d'échelle », en particulier sur la

façade arrière où elles atteignaient 250 m de long. Il eut l'idée de rappeler le rythme des ondes de toiture en disposant les voûtes perpendiculairement aux façades (fig. 26) et pour éviter la monotonie et assurer des transitions, de transformer les voûtes en toitures terrasses aux angles et au centre de la façade arrière.

Tous les détails : rotonde des portes (fig. 37) — bandeaux des arcs et tirants extrêmes (fig. 23 et 28) — saillie et dimensions des montants et des culots d'ancrage (fig. 23) — amortissement des contrefiches (fig. 25) — voiles de contreventement (fig. 24) — claustras et même remplissages (fig. 22) — firent l'objet d'études en commun pour allier les nécessités techniques et celles de l'aspect, sans ajouter aucune masse de béton inutile. Les châssis métalliques avec bandes rectangulaires vitrées de notre projet furent remplacés par des châssis en béton, mieux adaptés par leur aspect et leurs dimensions à une structure en béton armé. Les jeux opposés de l'ombre et de la lumière créés par une ossature aux décrochements ainsi étudiés animent les immenses façades auxquelles la maille carrée de 1,00 des châssis confère son caractère et son échelle (voir couverture et fig. 117).

b) Stabilité générale.

L'ensemble des deux cellules forme un bloc autostable

Stabilité sous les effets du vent.

— Vent perpendiculaire à la façade de 25 m :

Les points d'appui sont tous situés sur les pignons arrière (fig. 29). Ils se composent de huit contrefiches, soit :

- Une en face de chaque long pan extrême ou intermédiaire ;
- Deux intermédiaires dans chaque cellule recevant en tête les réactions des butons venant du pignon avant.



FIG. 22. — Appentis (claustras, remplissages).



FIG. 23. — Détail de l'angle : Pignon arrière. Façade latérale.



FIG. 24.
Voile ajouré
de contreventement
avant.

FIG. 25.
Détail de tête
de contrefiches.

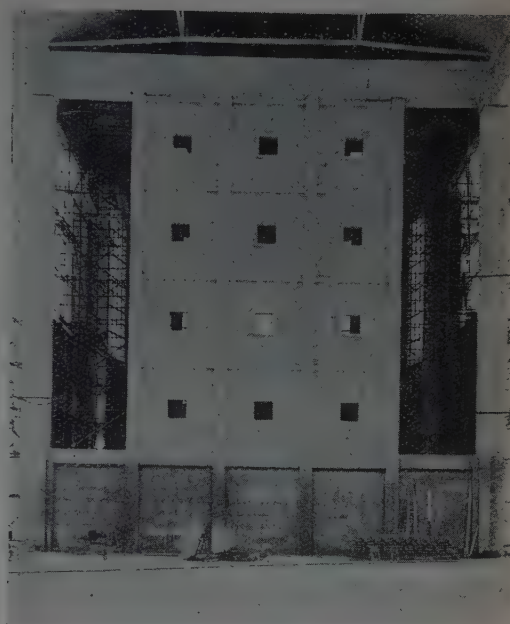


FIG. 26.
Façade latérale.



Les forces qui s'exercent, soit sur les remplissages, soit sur les pointes de pignon, soit sur les grandes portes, sont transmises à deux poutres de contreventement, situées au droit des façades avant et arrière, continues sur la longueur des deux cellules. La poutre située au-dessus des grandes portes roulantes reporte les forces à l'arrière par l'intermédiaire de butons horizontaux situés dans le plan des tirants qu'ils entretiennent et par les sablières des grandes voûtes.

Quant aux forces qui agissent sur la toiture, elles sont transmises directement aux contrefiches arrière par la rigidité de la voûte fonctionnant comme une poutre courbe ondulée de 100 m de portée et 60 m de hauteur.

— Vent perpendiculaire aux longs pans de 60,0.

Les forces sont reportées, par l'intermédiaire de la couverture, à deux panneaux situés dans l'entre-cellules. Un des panneaux rigides se trouve dans le plan du pignon arrière et l'autre à 10 m en arrière des grandes portes.

Variations linéaires dues à la température et au retrait.

Ces dispositifs qui assurent la stabilité des hangars sous l'effet des forces horizontales doivent permettre la libre déformation de la couverture sous les effets thermiques et du retrait. Le point fixe absolu est le panneau arrière d'entre-cellules (fig. 29). De ce point, la dilatation ou le raccourcissement se produit de part et d'autre sur 100 m dans le plan du pignon et sur 60 m dans la direction perpendiculaire d'un seul côté vers les grandes portes. Toutes les dispositions sont prises pour éviter que les déplacements n'engendrent dans les pièces de l'ossature des contraintes inadmissibles :

Sur le long pan commun, les poteaux de 19 m de hauteur et 1 m de côté sont assez flexibles pour se prêter aux allongements et raccourcissements dans le sens perpendiculaire aux grandes portes. Dans l'autre sens, les déformations angulaires de la couverture sont rendues possibles par des articulations sphériques en béton armé dont ces poteaux sont munis en tête.

Sur toute la hauteur au-dessus des appentis les poteaux des longs pans extérieurs constituent de véritables balanciers avec articulations sphériques à leurs deux extrémités (fig. 34 et 35). Ils peuvent donc subir des déplacements dans tous les sens. Aussi les châssis vitrés sont-ils maintenus dans un cadre en béton armé auxiliaire indépendant des poteaux et de la couverture mais guidé par eux. La partie inférieure des poteaux est liée à la structure des appentis pour réduire les flexions.

B. — DESCRIPTION ET FONCTION DES ÉLÉMENTS DE L'OSSATURE

1° Couverture.

La couverture d'une cellule est assurée par six ondes de 101,50 m de portée, 12,10 m de flèche et 9,80 m de largeur (fig. 1, 27 et 30.)

Sur 82,5 m de développement la section de l'onde est constante avec une hauteur totale de 2,20 m. L'onde proprement dite est un hourdis de 0,06 d'épaisseur dont la fibre moyenne est un cercle de 7,41 de rayon. Le talon de l'onde a, en coupe, la forme d'un trapèze.

Cette section transversale est raidie tous les 10,05 m mesurés en plan, par un voile de 7 cm d'épaisseur avec goussets de raccord à la partie supérieure et membrure rectangulaire de 0,35 x 0,16 à la partie inférieure.

Le hourdis est armé par du métal déployé à maille de 75 x 200 avec lanières de 4,5 x 4,5 réalisant environ 9‰ du volume de béton. Deux plaques de 4,80 m de longueur sont soudées à la clef de l'onde (fig. 67). Aux retombées de celles-ci et longitu-



FIG. 27. — Vue intérieure de la couverture d'une cellule au sol.

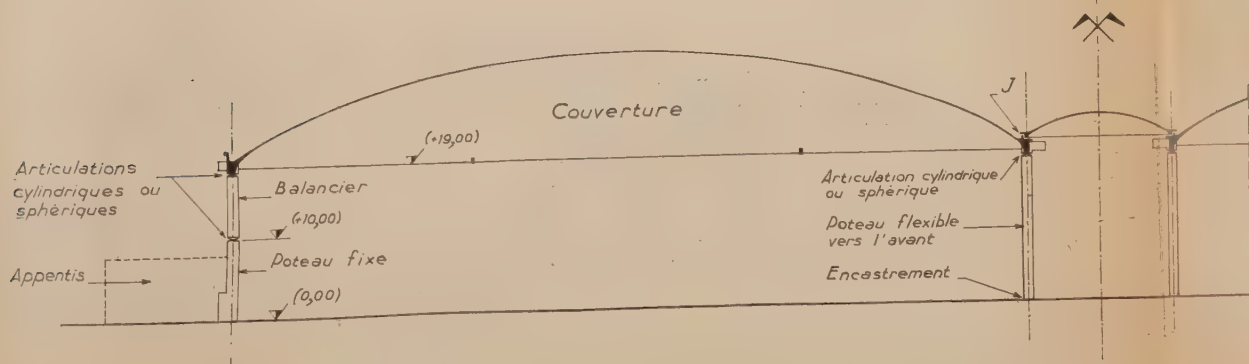
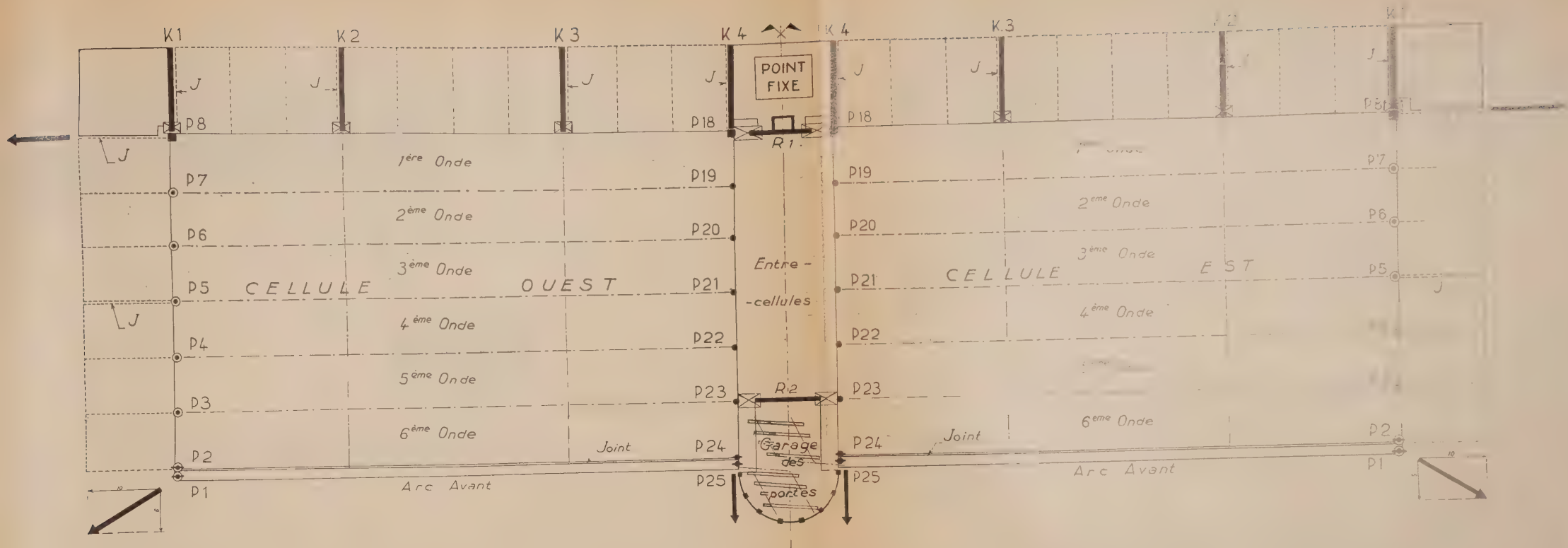
dinalement la continuité est assurée par recouvrements imbriqués (fig. 68). Cette armature a été substituée au quadrillage en ronds de 6 à 0,10 prévu au projet de 1946 pour plusieurs raisons :

- La faible épaisseur du réseau losangé disposé à la fibre moyenne du voile permet d'obtenir une plus grande protection par le béton;
- Les grands panneaux suppriment toute façon préalable de ferrailage et se posent rapidement;
- Les sections de chaque brin sont faibles : l'acier est très divisé et bien réparti dans le voile en béton;
- L'adhérence est augmentée grâce à la multiplicité des sections et surtout aux nœuds du maillage qui constituent autant d'ancrages;
- Les lanières en losange sont orientées favorablement pour résister aux tensions principales.

Ces trois derniers facteurs contribuent à diminuer les risques de fissuration.



FIG. 28. — Pignon avant d'une cellule au sol prête pour le levage.



- Parties fixes (appentis ou rotonde);
- Mouvement résultant de dilatation;
- Articulation cylindrique en tête des poteaux (P 18);
- Balancier à surface d'articulation cylindrique (P 8);
- Articulation sphérique en tête des poteaux (P 18, 20, 21, 22, 23);
- Articulation sphérique sur palonnier reposant sur articulation cylindrique en tête des poteaux (P 24-P 25);
- Articulation sphérique sur palonnier reposant sur balancier avec articulation sphérique inférieure et cylindrique supérieure (P 1-P 2);
- Balancier à articulation sphérique (P 3, P 4, P 8, P 6, P 7);
- Joints de dilatation;
- Dispositifs de plaques et contre-plaques (fenêtres de liaison).

FIG. 29. — Stabilité générale et dispositifs assurant la libre dilatation.

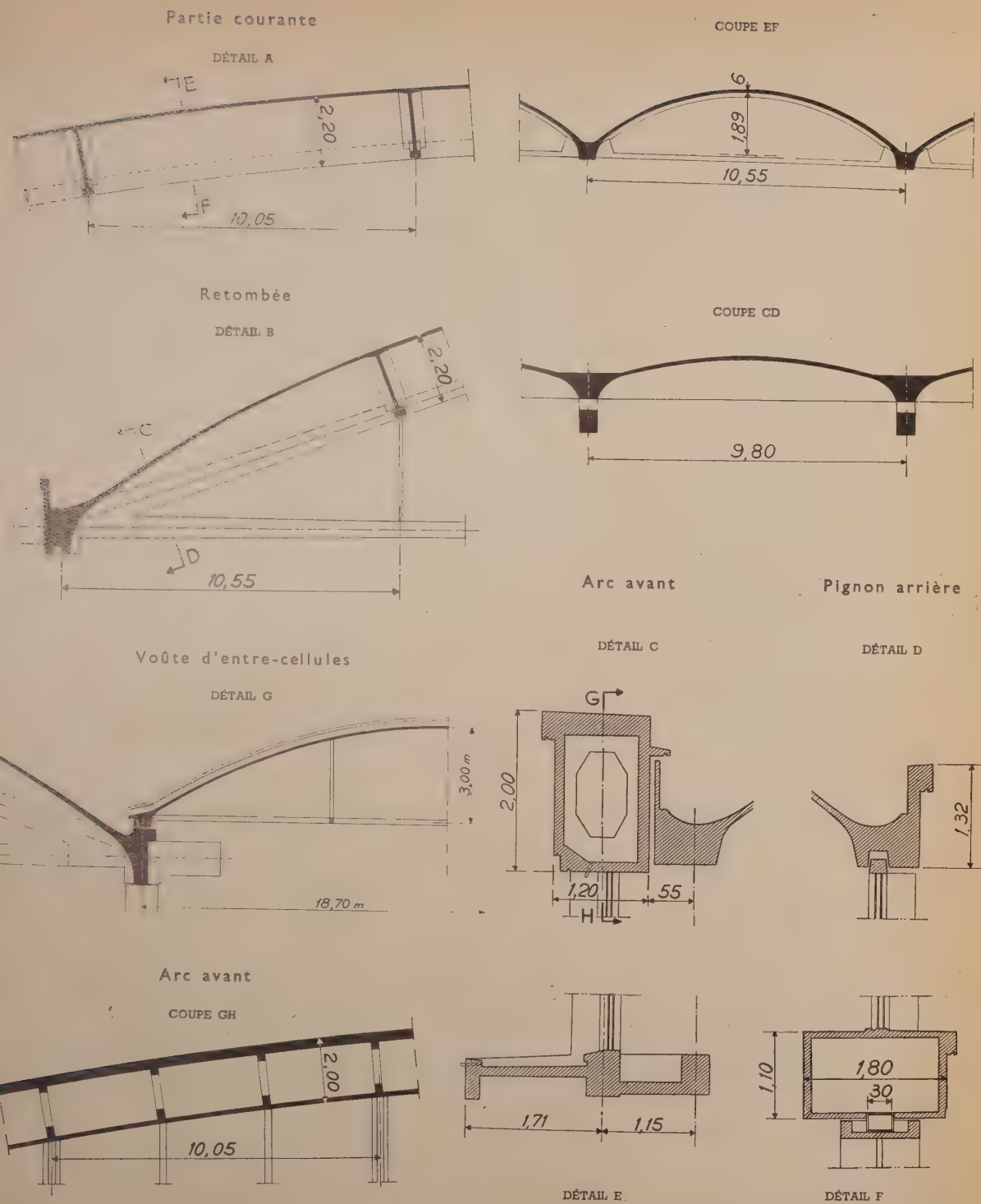
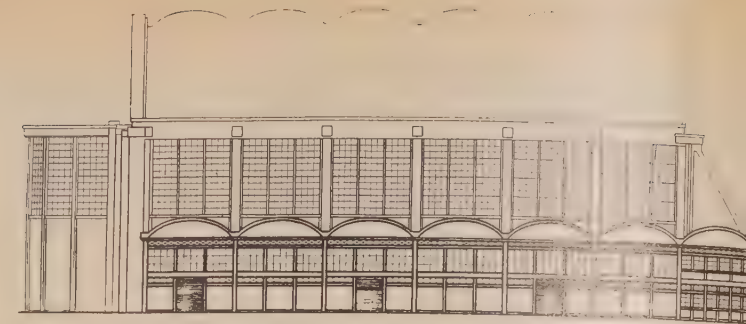
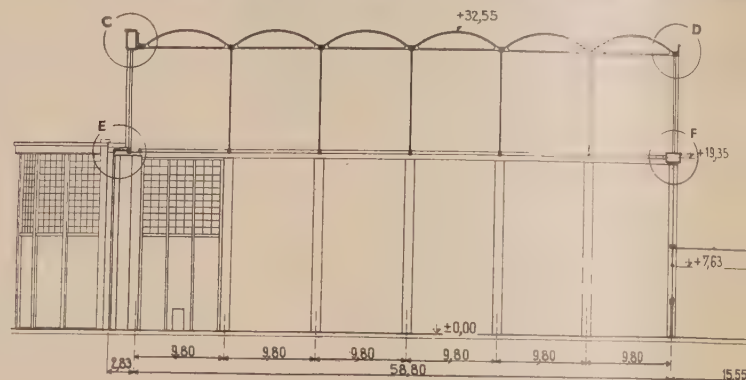


FIG. 30. — Ensemble. Façades et coupes. Principaux détails.

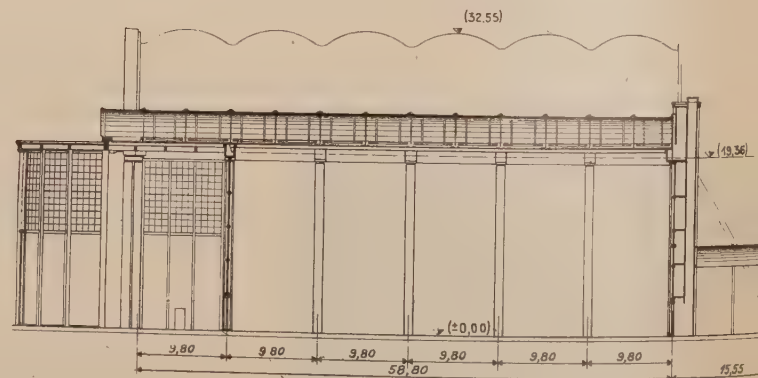
FAÇADE LATÉRALE



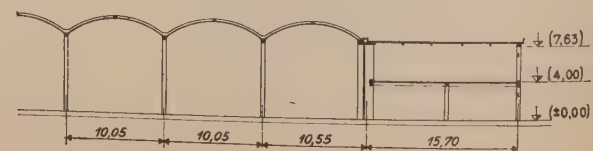
COUPE TRANSVERSALE

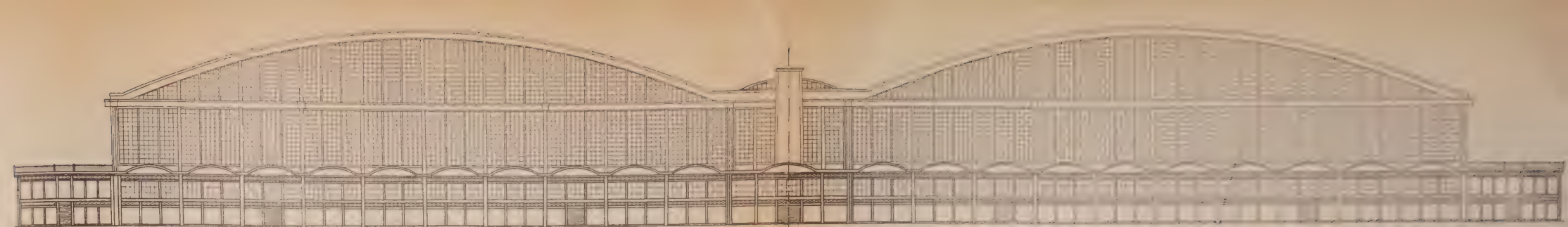


COUPE TRANSVERSALE
DANS L'ENTRE-CELLULES

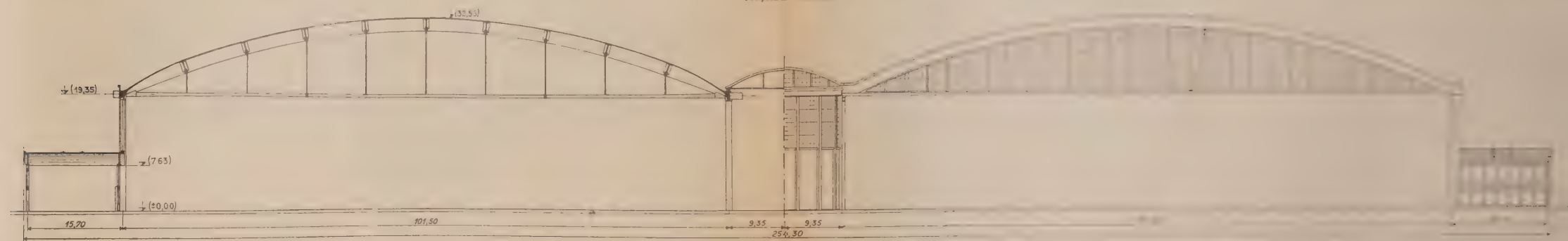


COUPE AB

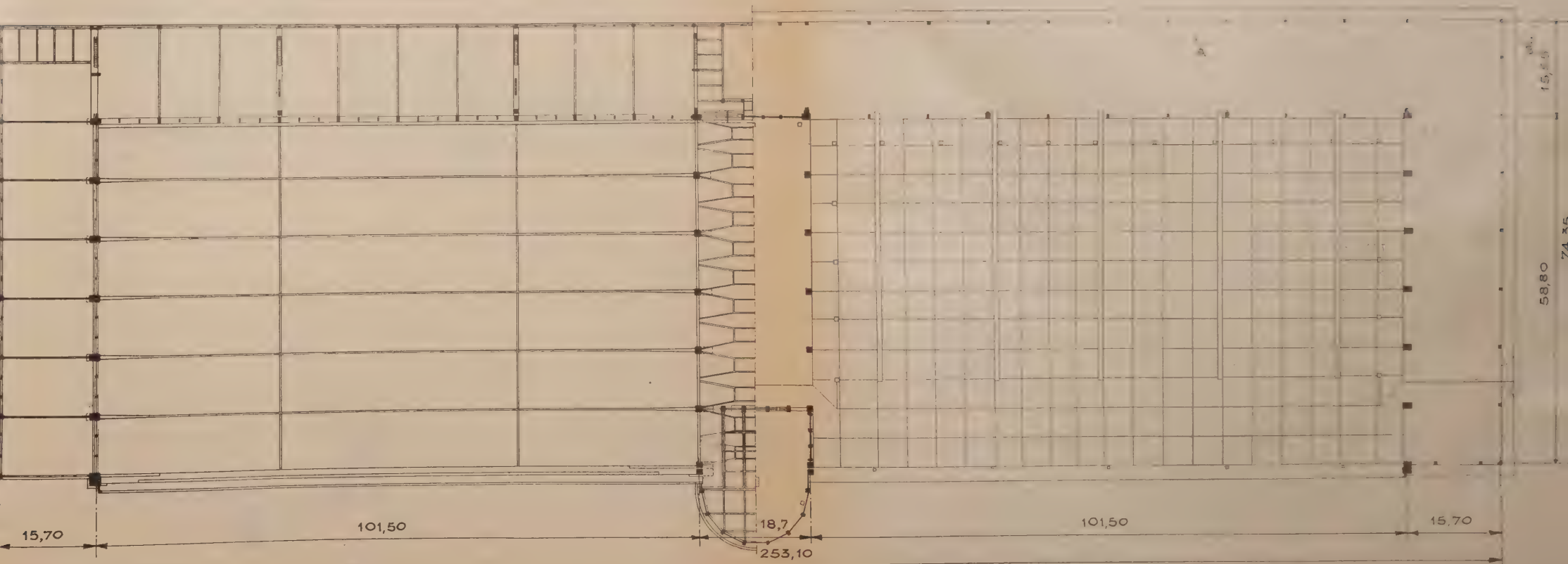




FAÇADE ARRIÈRE



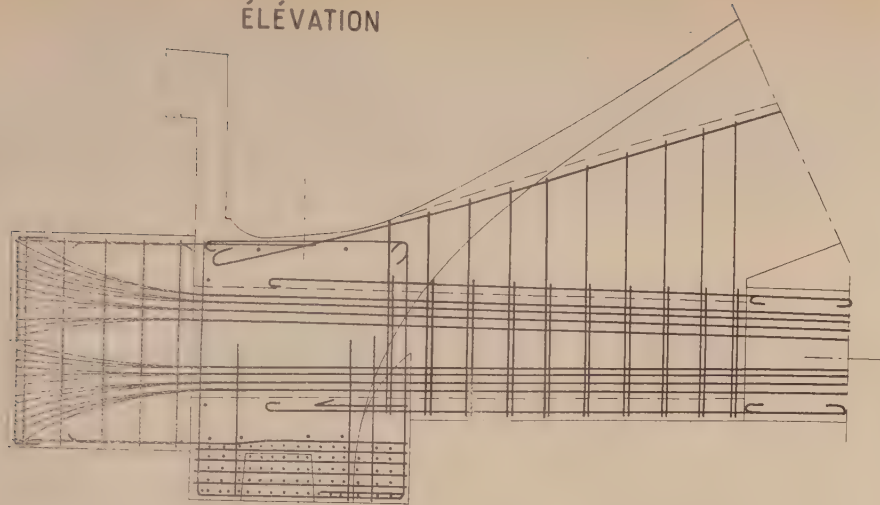
DEMI-COUPÉ LONGITUDINALE



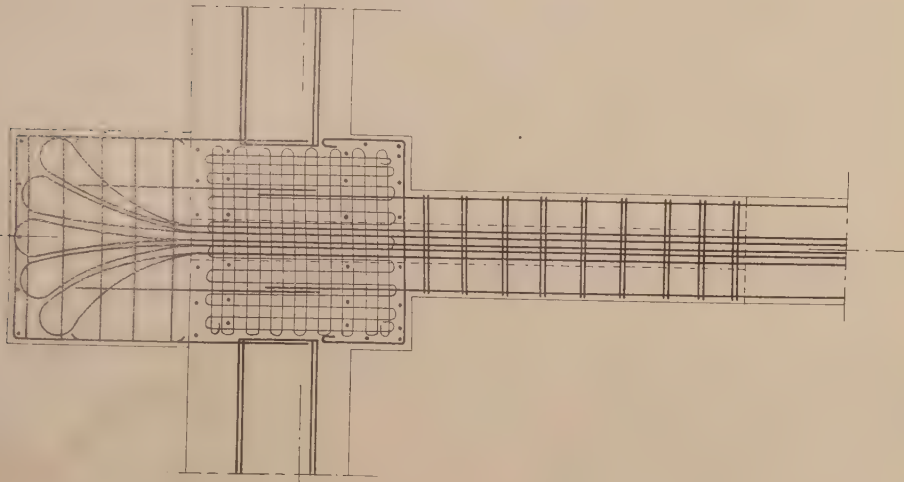
VUE EN PLAN

CÔTÉ FIXE

ÉLÉVATION

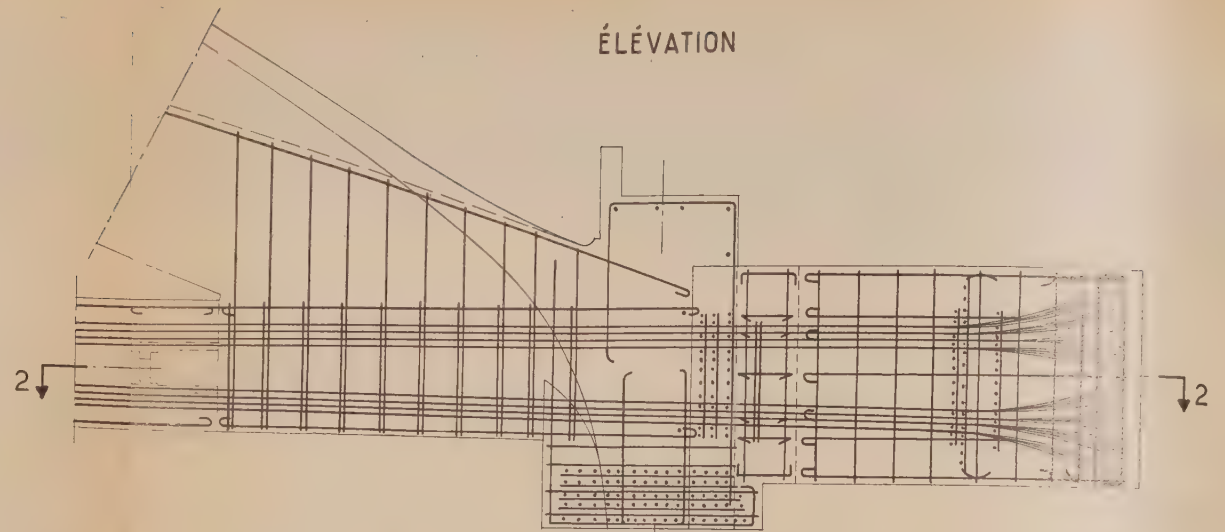


VUE EN PLAN

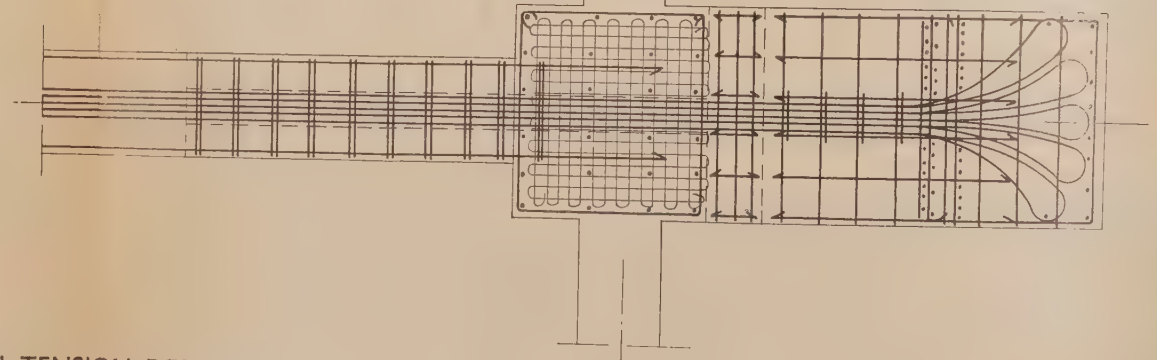


CÔTÉ MOBILE

ÉLÉVATION

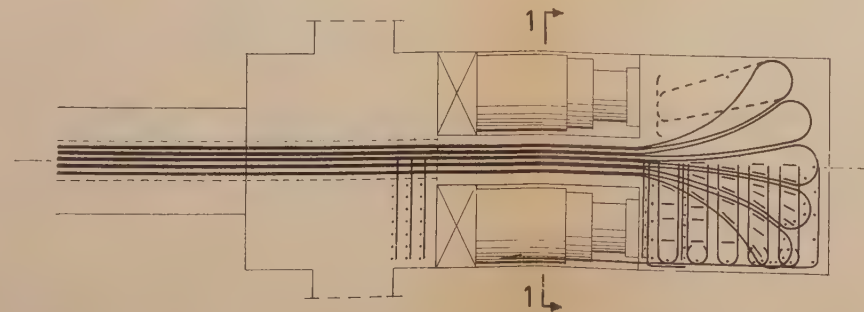
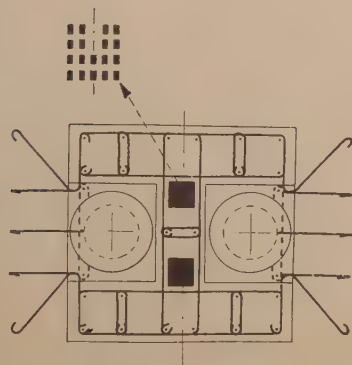


VUE EN PLAN



CULOT D'ANCRAGE ET DE MISE EN TENSION DES ACIERS DES TIRANTS
COUPE 2-2

COUPE 1-1



COUPE COURANTE

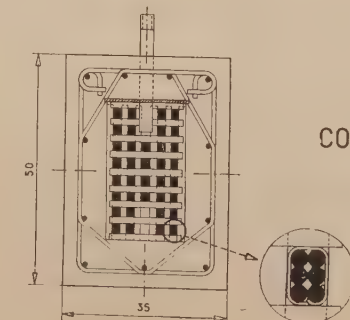


FIG. 31. — Tirant et culots d'ancrage.

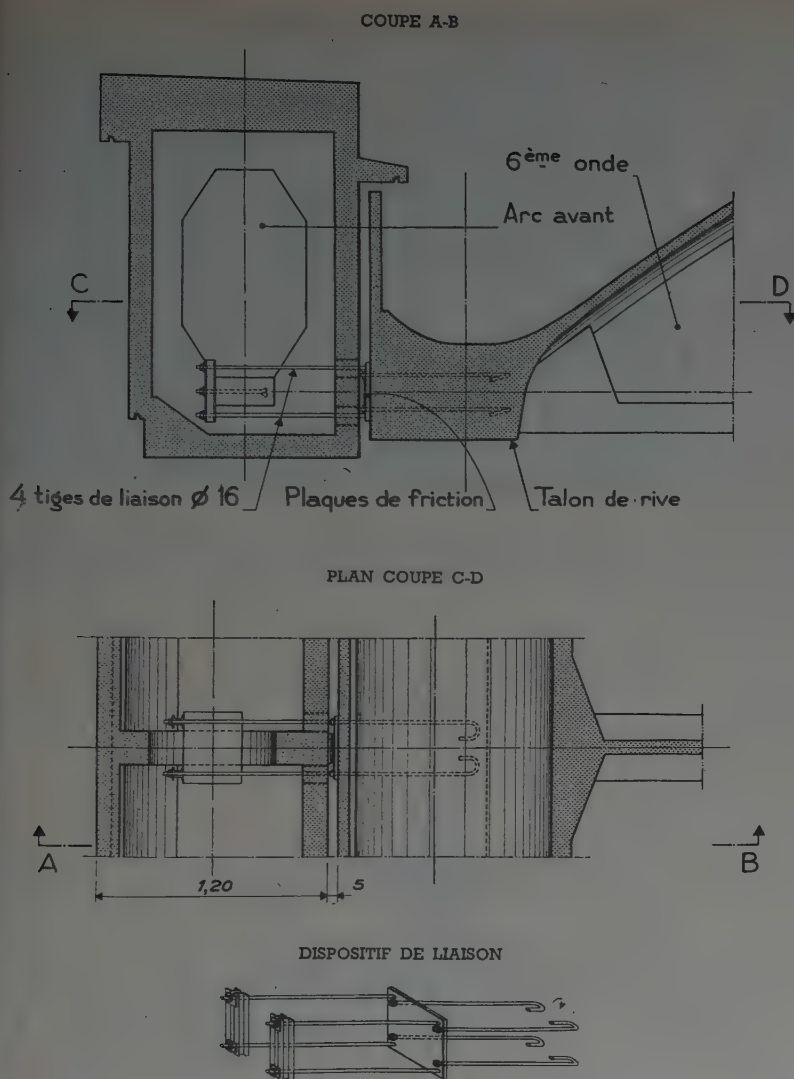


FIG. 32. — Liaison de l'arc avant avec la première onde.

Sur une longueur de 11,10 m, suivant le développement de la fibre moyenne, à partir de chaque façade le hourdis s'épaissit progressivement en corrélation avec un aplatissement de l'onde (fig. 30, Détails) qui se termine par une ligne droite sur une sablière verticale. La tangente indiquée comme limite à la figure 12 est en réalité menée par l'axe d'épure poteau-tirant à la fibre moyenne du talon, de telle sorte que la courbure de l'intrados se poursuit. La section du hourdis courant concentrée suivant les trajectoires fixes (fig. 12 b) s'ajoute à celle du tirant pour former à l'appui une section rectangulaire de $1 \times 1,10$ qui reçoit toute la réaction du tirant. Le départ des retombées se fait à partir d'un tympan renforcé de 10 cm d'épaisseur avec membrure inférieure de 35×25 .

Afin d'éviter un affaiblissement de la sablière par une double fenêtre à chaque poteau et pour améliorer la netteté architecturale de l'insertion du tirant dans la retombée, nous avons remplacé la séparation du tirant en deux nappes avec ceinturage du vérin (fig. 13) par un autre système. Les aciers d'une seule longueur de 630 m sont formés en écheveaux

bouclés de six brins chacun, dont les extrémités s'épanouissent dans des culots d'ancrage (fig. 31). Un de ces culots, du côté de l'entre-cellules, pouvait recevoir deux vérins de 300 t permettant de décintrer la voûte et de compenser les déformations du béton et des aciers. L'allongement de ces derniers sous la mise en tension dépassait en effet 33 cm.

Chaque tirant comporte 208 ronds de 6 mm en acier dur. En 1950, au moment de l'exécution des hangars, les Acieries de Longwy avaient abandonné la fabrication de l'acier « spécial S » prévu en 1946. Par contre, elles livraient en couronnes des aciers dits L. M. 9 utilisés couramment pour le béton précontraint. La tension maximum est d'environ 410 t pour un tirant. Le paquet d'armatures est contenu dans une gaine rectangulaire précontrainte pour les surcharges et injectée de mortier.

Les tirants sont entretoisés au tiers environ de leur portée par des butons de $0,58 \times 0,33$ qui servent à la transmission des efforts du vent du pignon avant aux contreforts arrière. Ils sont soutenus tous les 10,05 m par des suspentes accrochées aux talons des ondes (fig. 27 et 30).

Les ondes extrêmes sont semblables aux ondes courantes. Elles sont toutefois munies d'un bord relevé et d'un talon élargi à 77 cm (fig. 30). Toutes dispositions ont été prises pour qu'elles puissent se dilater et se déformer rigoureusement comme les ondes intermédiaires.

2° Façade avant-côté grandes portes.

Les grandes portes roulant sur des rails au sol sont guidées en tête par des chemins métalliques fixés à un hourdis qui forme contreventement horizontal capable de supporter la réaction horizontale des portes sous les effets du vent et qui est associé aux tirants de l'arc avant et de la première onde (fig. 30, Détail E). La largeur de 2,86 m de cette poutre auvent a été imposée par la double nécessité de faire passer le chemin de guidage des portes devant les poteaux d'entre-cellules et d'utiliser le tirant de la première onde comme membrure de flexion horizontale. Cette disposition réalise en outre une passerelle pour le nettoyage des vitres des pignons (fig. 28).

Le poids de la poutre horizontale ainsi constituée ajouté à celui du pignon muni de montants verticaux en béton armé et de châssis en béton armé vitrés, a conduit à prévoir un arc de tête important de 101,50 m de portée (Cf. p. 823, 3^e alinéa).

Cet arc, de section rectangulaire, en caisson de 2,0 m de hauteur et 1,20 m de largeur, supporte une poussée de 600 t.

Le funiculaire des charges de cet arc et les déformations du pignon étant différents de ceux des ondes de couverture, auxquelles nous désirions conserver toute leur souplesse, nous avons séparé les deux systèmes par un joint. Toutefois le bow-string ainsi isolé n'aurait pas pu résister aux effets du vent. Des liaisons avec le talon de la première onde autorisent des déplacements verticaux relatifs entre ces deux parties de l'ossature mais assurent une butée ou une retenue sans jeu pour des forces horizontales (fig. 32).

Aux extrémités, vers les poteaux d'appui, la réalisation des joints et de l'indépendance des diverses pièces pour laisser toutes libertés aux déformations linéaires et angulaires de chacune d'elles, a été assez difficile à réaliser.

3° Façade arrière.

La façade arrière est entièrement vitrée au-dessus des appentis. Le pignon vitré est indépendant de la couverture dans le sens vertical; dans le sens horizontal les montants sont maintenus par pénétration dans une feuillure ménagée dans le talon de l'onde (fig. 33). Le pignon est solidaire du tirant arrière, dédoublé pour former un caisson constituant poutre continue horizontale de contreventement. L'ensemble pignon-tirant est dilatable dans le sens des 100 m. A cet effet il est séparé de la façade arrière fixe. Il repose sur elle par l'intermédiaire de petits balanciers en béton armé disposés à l'aplomb de chaque montant principal, soit tous les 10,05 m. Pour assurer la transmission des efforts du vent, ces balanciers forment en même temps clavetage entre le tirant et la partie supérieure des montants sur lesquels ils s'appuient.

Les contrefiches de contreventement (fig. 29), soit intermédiaires, soit extrêmes, sont constituées par un système triangulé indépendant de l'ossature de la façade arrière. Elles reçoivent les actions horizontales des sablières et des butons. Celles-ci agissent dans les deux sens sous les effets du vent. En tête de chacune d'elles un dispositif fonctionnant en butée et en retenue, permet cependant la libre dilatation du tirant arrière (fig. 33).

4° Façades latérales et poteaux.

Comme les façades arrière, les façades latérales sont vitrées en entier au-dessus des appentis. Sur une hauteur de 8,55 m les poteaux forment balanciers munis d'articulations sphériques en béton armé à la partie supérieure sous sablière de la couverture des cellules et à la partie inférieure au-dessus des voûtes des appentis (fig. 34). Ils peuvent ainsi permettre des dilatations dans tous les sens ainsi que la libre déformation angulaire des ondes fonctionnant en arc à deux articulations.

Entre les balanciers qui peuvent osciller dans toutes les directions, la façade est constituée par des panneaux articulés à la partie inférieure et butés latéralement dans la sablière à la partie supérieure pour accompagner la dilatation longitudinale de la voûte. Latéralement des jeux appréciables permettent le balancement des poteaux (fig. 35).

5° Entre-cellules et garage des portes.

L'entre-cellules est couvert par une voûte en béton armé de 18,7 m de portée avec tirants en acier à haute limite élastique provenant des chutes des couronnes ayant servi aux tirants

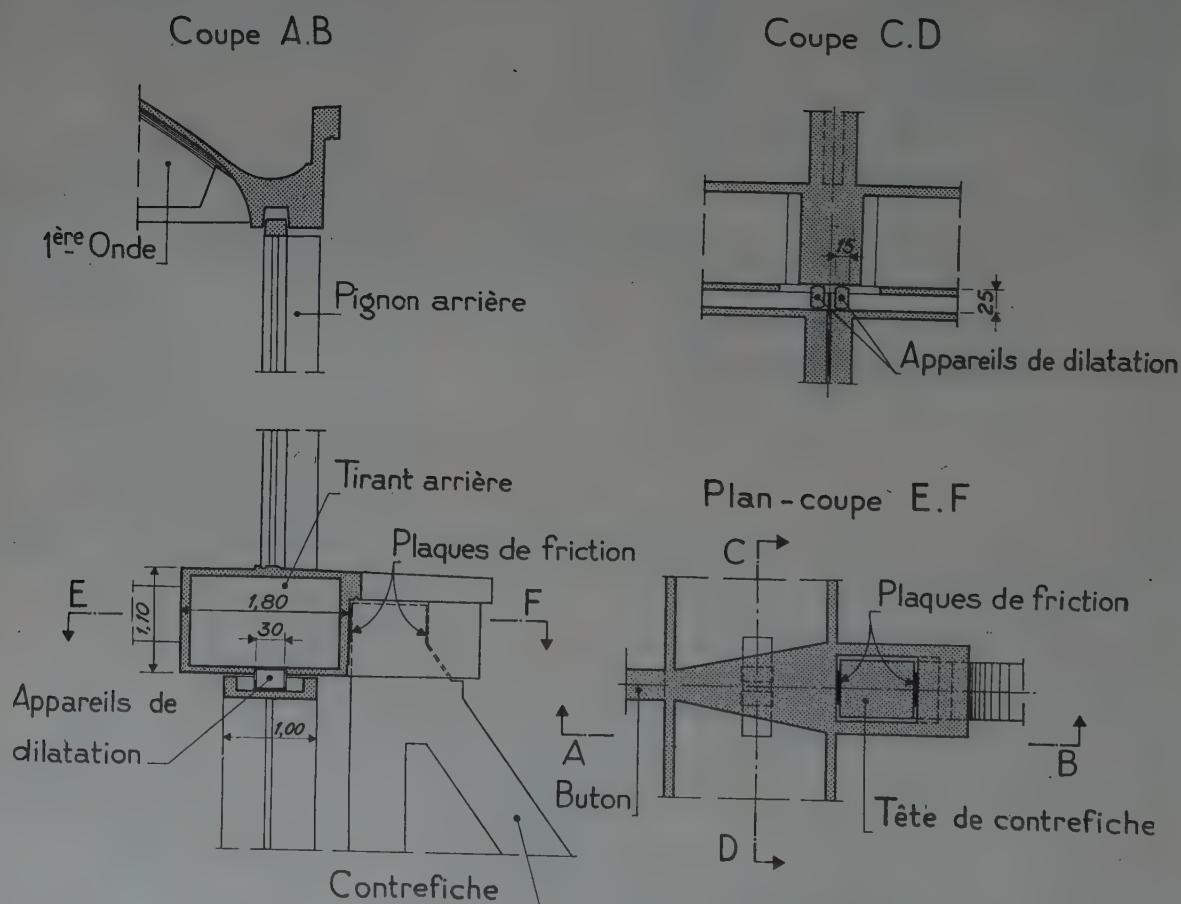


FIG. 33. — Façade arrière. Liaison en tête des contrefiches.



FIG. 34. — Balanciers de dilatation formés par la partie supérieure des poteaux du long pan. Au-dessous : dossier de raidissement sur la hauteur des appentis.

des grandes voûtes. La voûte repose sur les poutres sablières des ondes par l'intermédiaire de plaques de friction (fig. 36).

En pignon arrière l'entre-cellules est fermé par un panneau plein en béton armé, voile de 10 cm d'épaisseur raidi par des nervures. C'est ce panneau qui constitue le point fixe de l'ensemble des hangars (fig. 29). Au droit de la première file de poteaux, à partir du pignon avant, un voile de contreventement ajouré et muni de montants et de lisses (fig. 24) délimite le garage des portes de la cellule Est tout en servant de butée aux hangars dans le sens des 100 m. En tête, comme pour les contrefiches du pignon arrière, un dispositif de liaison laisse la liberté de dilatation dans le sens de la profondeur de 60 m du hangar.

Les poteaux encastrés à la base et munis d'une articulation sphérique en tête ont 21,30 m de hauteur entre semelle de fondation et sablière. Ils sont complètement isolés et ont une section carrée de $1,0 \times 1,0$.

Les grandes portes de la cellule Ouest sont garées dans une demi-rotonde dont la partie inférieure est une paroi pleine en béton armé et la partie supérieure est munie de châssis vitrés (fig. 37). La toiture de ce garage est en terrasse.

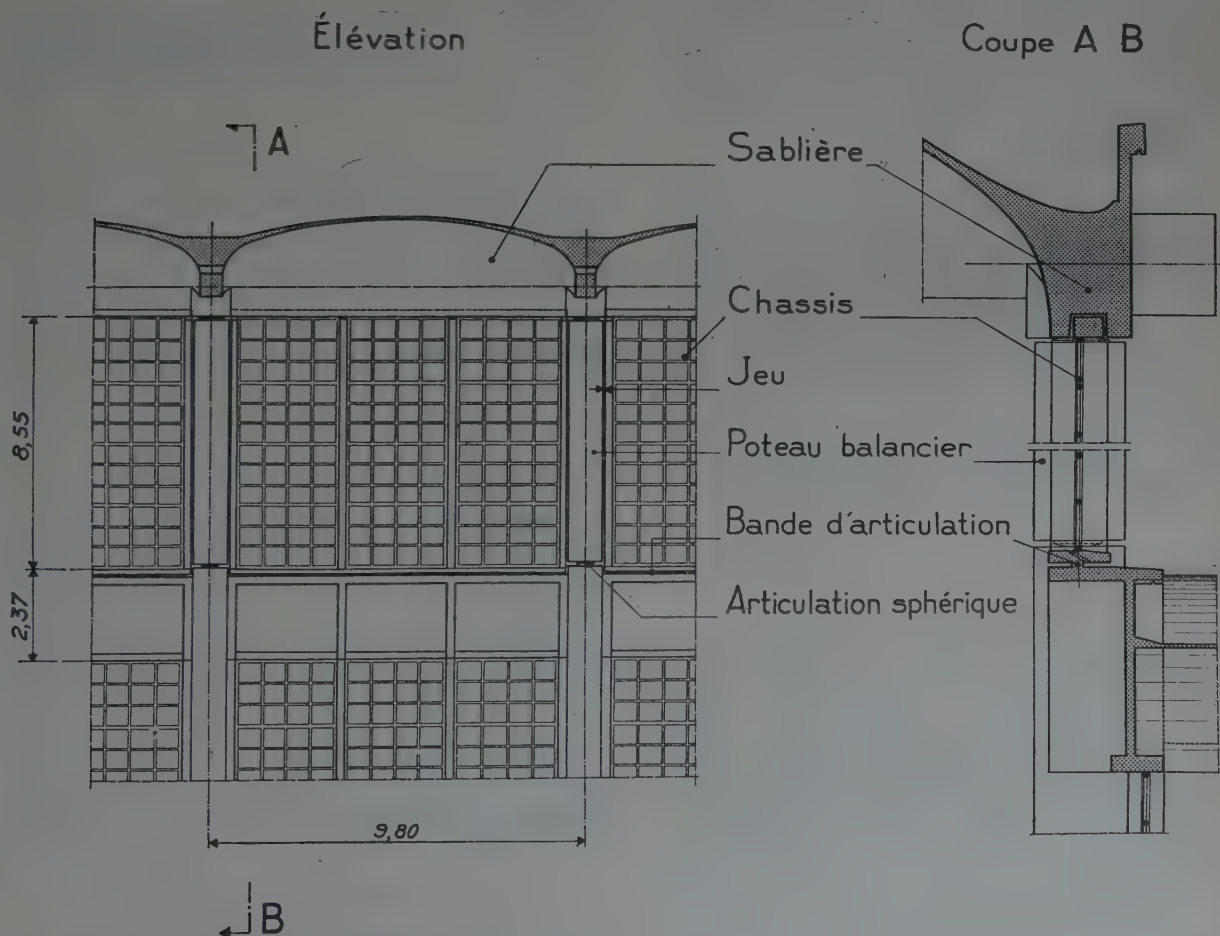


FIG. 35. — Façade latérale. Dispositions constructives.

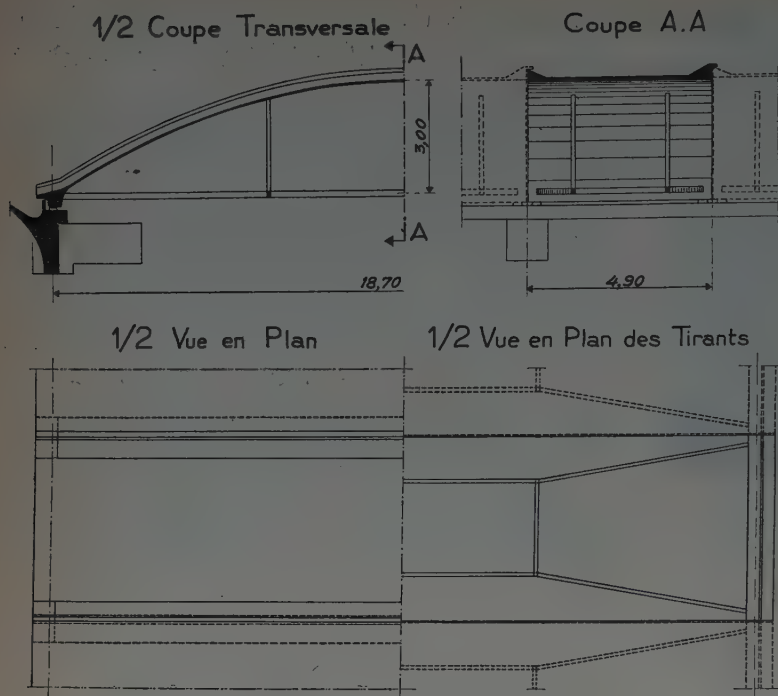


FIG. 36. — Couverture de l'entre-cellules.

6° Appentis.

Les appentis arrière sont couverts par des voûtes berceaux de 2,07 m de hauteur, 10,05 m d'ouverture et 15,55 m de portée. Les toitures des appentis latéraux ont des dimensions analogues. Le berceau est raidi d'une part par un voile de hauteur constante situé dans le plan des façades du hangar (fig. 78), d'autre part, à l'extérieur, par un pignon plein de 7 cm d'épaisseur en béton armé. Les appentis d'angle et la chaufferie qui prolonge l'entre-cellules sont couverts en partie par des terrasses.

Les remplissages extérieurs sont en parpaings pleins apparents (fig. 22), les remplissages intérieurs en parpaings creux enduits. Les façades comportent des châssis vitrés et des claustras de ventilation.

7° Fondations et divers.

a) Fondations.

Les fondations des poteaux porteurs et des contrefiches sont descendues à 4 m de profondeur uniformément sur une marne colorée très résistante. Le taux de pression est de 5 kg/cm² sur l'arête la plus chargée dans le cas le plus défavorable.

Les éléments secondaires tels que les montants des façades et les appentis sont fondés à une profondeur de 2 m environ avec un taux limite de pression de 3 kg/cm². Les semelles en béton armé prennent appui sur le sol par l'intermédiaire de massifs en béton non armé d'épaisseur adéquate.

b) Étanchéité. Évacuation des eaux de pluie.

L'étanchéité des couvertures est obtenue par la compression du hourdis, par la compacité du béton vibré et par un

enrichissement de l'extrados des ondes ou voûtes (par saupoudrage du béton frais à raison de 2 à 3 kg de ciment par mètre carré avec lissage).

Les chéneaux le long des sablières reçoivent un badigeon au flintkote à deux couches.

Les eaux des grandes voûtes sont évacuées en pignon avant et au pignon arrière seulement. Les voûtes des appentis ont leur tuyau de descente encastré dans le poteau de façade en forme d'U. Toutes les descentes sont raccordées à un réseau commun d'évacuation.

c) Dallages.

Afin de résister aux impacts des roues des avions les plus lourds actuels, le dallage est constitué, à partir du terrain préalablement décapé, nivelé et cylindré, par une couche de mâchefer de 0,10 d'épaisseur, puis un hérisson en moellons rangés à la main, garni de cailloux et cylindré, de 0,30 m d'épaisseur fini, une couche mince de sable et le dallage proprement dit en béton non armé de 0,15 m d'épaisseur.

Le dallage est coupé tous les 5 m environ par des joints garnis de bitume coulé à chaud (fig. 30).

Cinq caniveaux couverts par des dalles amovibles sont répartis dans la longueur de chaque cellule afin de distribuer en tout point de la surface l'eau, l'électricité et l'air comprimé.

Un pentage et des regards permettent de collecter les eaux de lavage dans le réseau général d'égouts.

d) Surfaces de béton.

Toutes les surfaces extérieures obtenues à partir de coffrages soignés restent brutes. Les surfaces intérieures sont badigeonnées à la chaux (fig. 1).



FIG. 37. — Rotonde formant garage des grandes portes roulantes.

C. — CALCULS

1° Bases des calculs.

Les calculs ont été conduits d'après les règles de la Circulaire du 20 février 1939 des Travaux Immobiliers de l'Aéronautique qui fixe les conditions auxquelles doivent satisfaire les projets d'exécution des ouvrages en béton armé.

Conformément à cette circulaire les surcharges et les contraintes adoptées sont :

a) Surcharges et actions diverses.

Vent.

Pressions extérieures :

Surfaces frappées par le vent

$$82 (\sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha) \text{ kg/m}^2.$$

Surfaces abritées

$$- 82 \text{ kg/m}^2 \text{ (dépression).}$$

Pressions intérieures

$$\pm 82 \text{ kg/m}^2.$$

Pour la voûte, par exemple, lorsque le vent souffle perpendiculairement au pignon, l'action résultante (pression intérieure plus dépression extérieure) de 164 kg/m^2 tend à soulever la couverture et à décharger le tirant.

Les façades doivent être calculées pour $\pm 164 \text{ kg/m}^2$ (1).

Neige.

— Sans vent : Surcharge uniformément répartie en projection horizontale de 50 kg/m^2 .

— Avec vent : Surcharge répartie d'une manière quelconque mais réduite à la moitié de la valeur précédente.

Température.

Variations lentes entre l'hiver et l'été : $\pm 12^\circ \text{C}$.

Variations rapides journalières : $\pm 12^\circ \text{C}$.

Coefficient de dilatation : 11×10^{-6} .

Retrait :

Raccourcissement irréversible pour le béton en contact direct avec l'atmosphère libre sans abri : 2×10^{-4} .

Fluage du béton :

Pour les charges permanentes ou surcharges prolongées le module d'Young correspondant au béton variera de $3 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ au début de leur action à 1×10^6 au bout d'un temps suffisant (déformation lente du béton).

Flambage et erreurs de construction :

Le coefficient de sécurité au flambage sera pris égal à 2. On admettra que les erreurs de construction ont pour effet de donner aux pièces droites des rayons de courbure égaux à 200 fois leur longueur.

(1) D'après les Règles N. V. 46 cette action correspondrait à une pression dynamique de 126 kg/m^2 , c'est-à-dire à une vitesse du vent de 45 m/s .

b) Contraintes admises.

Aciers mi-durs.

Si n'_e désigne la limite élastique conventionnelle de l'acier utilisé, la contrainte des aciers tendus ne devait pas dépasser $36/60 n'_e$ sans que l'allongement des armatures après enrobage, calculé sans tenir compte du béton tendu, soit supérieur à $2 \times 10^{-4} (\sqrt{n'_e} - 2)$.

Avec des aciers lisses mi-durs 55/65 mis en place sans précautions spéciales cette dernière condition imposait une limite de :

$$R'_a = 1\,750 \text{ kg/cm}^2,$$

en cas de cumul de tous les efforts possibles de surcharge : neige, vent, température, retrait, erreurs de construction, etc.

Aciers durs.

Pour obtenir une sécurité de 2 à la rupture la contrainte en œuvre devait être inférieure à $\frac{n'_t}{2}$ soit :

$$R'_a = 7\,000 \text{ kg/cm}^2.$$

Bétons.

La contrainte du béton comprimé en fonction de la résistance minimum à la rupture par compression simple n_j à j jours d'âge devait rester inférieure à $0,32 n_j$ pour un béton ayant un volume relatif utile d'armatures transversales normales à la direction de la compression égal ou supérieur à 4 ‰. Pour le même béton sans armatures transversales la contrainte admissible était réduite à $0,24 n_j$. Entre les deux pourcentages de 0 et de 4 ‰ la contrainte variait linéairement. Ainsi pour 2 ‰ elle était de $0,28 n_j$. Un béton de caractéristique 290 à 90 jours a suffi pour la presque totalité de l'ossature. D'après les règles indiquées ci-dessus il permettait des contraintes variant de 66 kg/cm^2 à 93 kg/cm^2 .

Les contraintes de traction, d'adhérence et de cisaillement étaient prises égales au 1/10 de la contrainte de compression correspondant à un pourcentage nul d'aciers transversaux, soit pour le béton 290, $6,6 \text{ kg/cm}^2$.

2° Onde.

a) Forces principales.

Le calcul de l'onde comme arc à deux articulations à inertie variable sous-tendu par un tirant ayant 101,5 m de portée et 12,50 m de flèche ne présente aucune difficulté digne d'être signalée.

Les caractéristiques de la partie courante de l'onde sont :

Section.....	$\Omega = 0,94 \text{ m}^2$
Moment d'inertie.....	$I = 0,55 \text{ m}^4$
Module de résistance.....	$\frac{I}{V} = 0,50 \text{ m}^3$

Les charges permanentes seules engendrent une poussée de 342,4 t et une réaction verticale à l'appui de 181,3 t.

La température et le retrait n'introduisent, en principe, aucune force, l'arc étant libre de se dilater et de se contracter. Nous avons admis néanmoins que les tirants, éléments intérieurs abrités par les voûtes, pourraient accuser avec celles-ci des variations rapides de température de 6°C . Cela revient à considérer que la voûte subira une variation linéaire correspondante de $\pm 6^\circ \text{C}$ avec un coefficient d'élasticité de $E = 3 \times 10^6 \text{ t/m}^2$.

De même nous avons supposé que le tirant ne subit pas de variation de longueur sous l'action du retrait du béton d'enrobage du paquet d'armatures. L'onde subit alors intégralement les effets du retrait résiduel de 2×10^{-4} avec coefficient d'élasticité $E = 1 \times 10^6 \text{ t/m}^2$.

Pour la déformation lente (fluage) nous avons pris un raccourcissement différé atteignant au bout de 1 an 0,75 de sa valeur finale, ce qui conduit à cette époque à des contraintes ayant pour valeur 0,875 de celles calculées pour le retrait.

Les vérifications de section ont ainsi été faites :

- A l'époque des décintrements et mises en tension;
- A l'époque de la mise en service du hangar;
- Après une durée de plusieurs années.

Le tableau ci-après indique les contraintes pour la section aux reins (1/4 de la portée) qui subit les sollicitations les plus grandes :

FORCES APPLIQUÉES	EXTRADOS		INTRADOS	
	Com- pression +	Traction —	Com- pression +	Traction —
Charges permanentes..	+ 37,5	+ 37,5	+ 37,5	+ 37,5
Neige à 50 kg.	+ 16,0		+ 12,1	
Neige à 25 kg.		— 9,93		— 10,15
Vent et dépression intérieure				
Vent et surpression intérieure		— 24,59		— 19,66
Température + 6° C.:		— 2,17		— 2,45
Température — 6° C.:	+ 2,17		+ 2,45	
Retrait	+ 2,19	+ 2,19	— 2,46	— 2,46
Fluage après 1 an. ...	+ 1,92	+ 1,92	— 2,26	— 2,26
	+ 59,78	+ 4,92	+ 47,33	+ 0,52
Erreurs d'exécution...	+ 3,15	— 3,15	+ 3,15	— 3,15
Déformation du deuxième ordre et flambage.	+ 1,77	— 1,77	+ 1,77	— 1,77
	+ 64,7	0,00	+ 52,25	— 4,5
	kg/cm ²			kg/cm ²

L'examen du tableau montre que :

- Pour une pareille portée, les contraintes permanentes de compression pour la section la plus sollicitée sont de l'ordre de 42 kg/cm², laissant une marge considérable de sécurité;
- La contrainte de compression est plus élevée dans le voile mince (extrados) que dans le talon massif.

Nous aurions pu introduire au moment du décintrement une poussée corrective et égaliser les contraintes maxima de compression. Mais cette correction aurait eu pour effet de créer des contraintes d'extension dans le voile mince pour le cas de surcharges atmosphériques correspondantes. Nous avons jugé préférable de renoncer à toute compensation : la contrainte de 65 kg/cm² avec la résistance acquise par un béton âgé de plus de 1 an n'est nullement excessive. En outre la compression du voile autorise dans celui-ci des cisaillements plus élevés sans qu'apparaissent des efforts principaux de traction.

Quant au talon de l'onde, il peut supporter des tractions sans inconvénient à cause de sa masse et de son armature plus importante. Sa face supérieure formant noue, plus rapprochée

de la fibre moyenne de l'onde, ne subit d'ailleurs jamais d'extension.

En résumé, l'état des contraintes est tel qu'il n'y a jamais de béton tendu en contact avec l'air extérieur et l'eau de pluie, ce qui a permis d'éviter toute étanchéité sur l'onde.

b) Forces dues au profil ouvert de la section transversale.

Tout le calcul précédent ayant été mené comme pour un arc de 101,50 m de portée à deux articulations, la figure 38 exprime l'équilibre général d'un tronçon d'arc de longueur Δs mesurée suivant la fibre moyenne. F_1 et F_2 sont les forces extérieures tangentes à la courbe de pression et relatives respectivement aux sections extrêmes de centres de gravité G_1 et G_2 . Chacune d'elles peut être ramenée à ce centre de gravité et remplacée par le système équivalent des composantes, suivant la tangente à la fibre moyenne (effort normal N_1) et suivant la normale à la fibre moyenne (effort tranchant T_1) et du moment fléchissant $M_1 = F_1 \cdot d_1$. La force P est la résultante des forces appliquées à l'élément (poids propre — action des surcharges neige et vent). La grandeur et la répartition des actions moléculaires sur la section transversale sont figurées par les trois diagrammes de contraintes bien connus (fig. 38) en section homogène et avec l'hypothèse de Navier.

L'équilibre de l'élément considéré se traduit par :

- Le dynamique fondamental ABDA;
- Le dynamique équivalent ABCDEA.

Si nous projetons sur Ox , tangente à la fibre moyenne au milieu de Δs , ce deuxième contour vectoriel nous obtenons :

$$\frac{T_1 + T_2}{2\rho} + N_1 - N_2 + P \cos \alpha = 0$$

et en admettant

$$T_1 \cong T_2 = T$$

pour $\Delta s = 1$ et $N_2 > N_1$

$$(1) \quad \Delta N = \frac{T}{\rho} + P \cos \alpha.$$

Si nous projetons sur Oy et compte tenu que $\frac{\rho}{2}$ est très petit :

$$T_1 - T_2 - \frac{N_1 + N_2}{2\rho} + P \sin \alpha = 0$$

d'où :

$$(2) \quad \Delta T = \frac{N \text{ moy.}}{\rho} - P \sin \alpha.$$

La section transversale en onde de longueur Δs est soumise à des systèmes de forces en équilibre dans leur ensemble mais distribués de façon différente en chaque point de son profil, ce qui engendre des efforts que nous allons évaluer. Ces efforts transversaux tendent à déformer le profil de l'onde, à l'aplatir ou à le bomber.

Par l'application de la formule 1 l'effort tranchant maximum étant de 6 t et ρ valant 114 m, on a :

$$\frac{T}{\rho} = \frac{6}{114} = 0,0527 \text{ t.}$$

La variation d'effort normal ΔN est donc absolument négligeable vis-à-vis de l'effort normal principal. Il n'en serait pas de même pour une onde qui subirait des efforts tranchants importants et qui aurait un faible rayon de courbure. Dans ce cas d'ailleurs la validité des hypothèses ayant servi de base au calcul deviendrait douteuse.

Considérons maintenant (p. 852) un élément transversal de largeur $\Delta s = 1$ m et divisons le demi-élément en n parties (fig. 39). Soit ω correspondant à l'une de ces parties, la fraction de Ω , surface totale de la section transversale de l'onde.

FIG. 38. — Équilibre général d'un tronçon d'onde.

Nous pouvons écrire la formule (2)

$$\Sigma (\Delta \bar{E}' \cdot \omega) = \Sigma \frac{\sigma \omega}{\rho} - \Sigma p \sin \alpha,$$

En supposant que la loi de répartition de p est la même que celle de ω , ce qui est rigoureux pour le poids propre, nous avons :

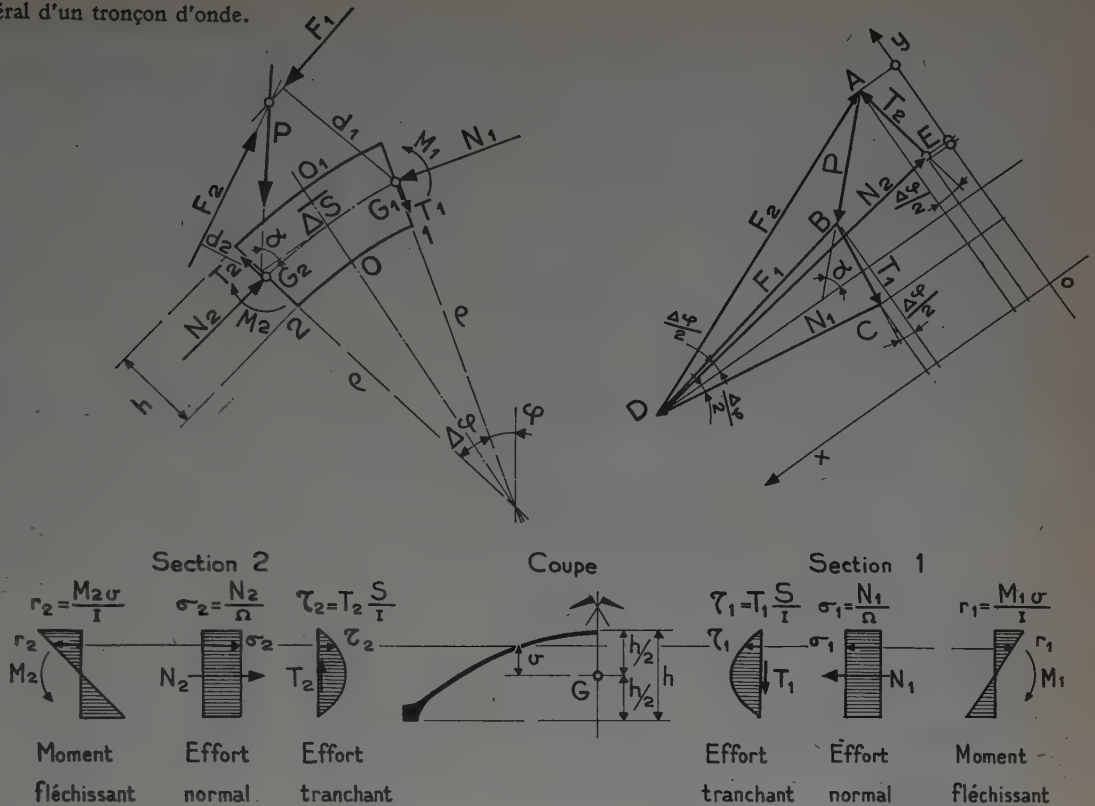
$$p \sin \alpha = k \cdot \omega$$

σ étant constant sur toute la section on a :

$$\begin{aligned} \Sigma (\Delta \bar{E}' \cdot \omega) &= \frac{\sigma}{\rho} \Sigma \omega + k \Sigma \omega \\ &= \left(\frac{\sigma}{\rho} + k \right) \Sigma \omega \end{aligned}$$

soit finalement :

$$\Sigma (\Delta \bar{E}' \cdot \omega) = K' \Sigma \omega.$$



Pour une valeur $\Delta T = 1$ il est possible d'appliquer les forces ainsi déterminées pour chacune des n parties (fig. 39) et d'en déduire les moments, poussées et autres efforts dans le profil transversal assimilé à un arc à deux articulations. Le moment est de l'ordre de 57 mkg au sommet et de 96 mkg aux reins.

Mais la valeur maximum de ΔT étant en réalité de l'ordre de 0,3 t/m le plus fort moment secondaire dû à cet effet ne dépasse pas $0,3 \times 96 \cong \pm 29$ mkg.

L'application des moments M_1 et M_2 détermine aussi des efforts secondaires dans l'élément d'onde de longueur $\Delta s = 1$. Du fait de la courbure, les forces unitaires $r_1 \omega$ et $r_2 \omega$ ne sont pas en opposition. Elles se composent pour donner une résultante transversale $\frac{r_1 \omega}{\rho}$ ou $\frac{r_2 \omega}{\rho}$. Ces forces transversales f sont positives ou négatives suivant que r_1 est une compression ou une traction.

L'équilibre en flexion simple donne :

$$\Sigma r_1 \omega = 0.$$

On en tire :

$$\begin{aligned} \frac{1}{\rho} \Sigma r_1 \omega &= 0 \\ \Sigma r_1 \omega &= 0 \\ \Sigma f &= 0. \end{aligned}$$

Le système des forces f est ainsi en équilibre indépendamment des autres forces agissant sur l'élément considéré. Le cas le plus défavorable des moments secondaires transversaux correspondra donc au moment maximum dans l'arc; c'est-à-dire lorsque nous aurons :

$$\frac{\Delta M}{\Delta X} = 0.$$

Dans ces conditions $M_1 = M_2$ et nous pouvons écrire :

$$M = \Sigma \frac{r v}{I}.$$

Il est alors facile de calculer les forces $\frac{r \omega}{\rho}$ par exemple pour un moment de 100 mt et de les appliquer à chacune des n parties (fig. 39). Les moments secondaires transversaux sont de l'ordre de ± 74 mkg (*).

Le moment principal aux reins dans l'onde atteignant 123 mt (à la clef — 94 mt) on trouve :

$$\frac{123}{100} \times 74 = 91 \text{ mkg.}$$

Même en cumulant avec le moment secondaire déjà trouvé pour la variation d'effort tranchant on peut prévoir que les moments transversaux seront au maximum de l'ordre de :

$$91 + 29 = 120 \text{ mkg.}$$

Nous croyons devoir faire remarquer que les efforts secondaires tels que nous les avons fait ressortir existent dans tout arc pour une couche de fibres quelconque d'épaisseur e

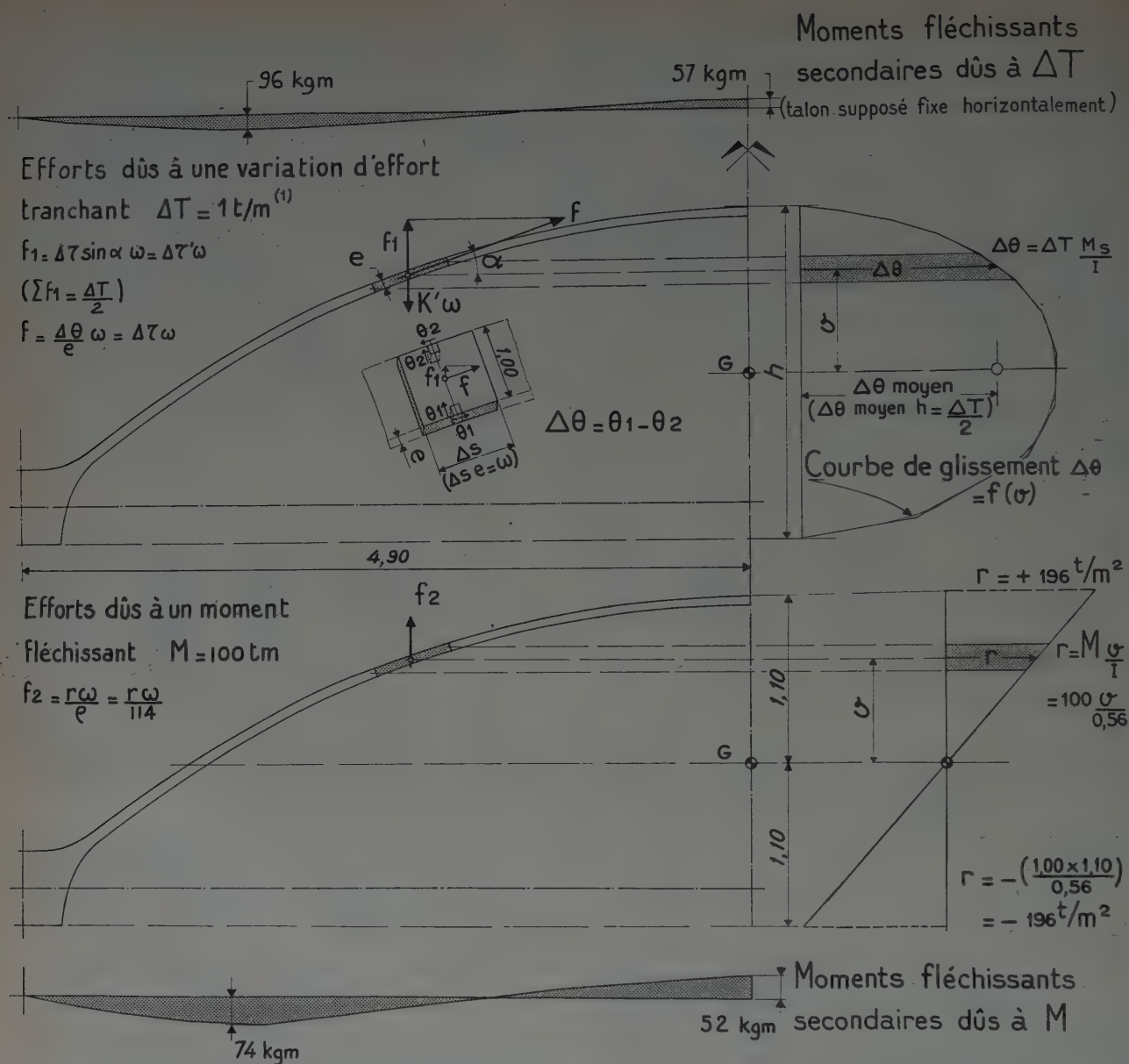
(*) Pour plus de détails sur ces méthodes de calcul on pourra se reporter aux articles suivants :

R. VALLETTE, « Considérations sur les voûtes minces autoportantes et leur calcul », *Génie Civil*, 27 janvier 1934.

R. VALLETTE, « Ouvrages à parois minces renforcés ou non par des raidisseurs », Publication préliminaire, A. I. P. C. Deuxième Congrès, Berlin 1936.

S. P. TIMOSHENKO, « Théorie de la flexion, torsion et flambage des barres à parois minces et à section ouverte », *L'Ossature Métallique*, nos 7-8, août 1947; n° 9, septembre 1947.

A. PARIS, « Voûtes cylindriques autoportantes. Calcul graphique par épure isostatique », *Travaux*, avril 1950.



(1) L'épure étant faite pour la demi-section transversale d'une onde, l'équilibre des efforts ne fait intervenir que $\frac{\Delta T}{2}$.

FIG. 39. — Efforts secondaires dans le profil transversal pour une tranche de 1 m.

(fig. 40). Mais dans un arc plein ils sont opposés et il n'en résulte que des tractions ou compressions négligeables dans une tranche élémentaire. Si l'arc est en caisson, les tables inférieures et supérieures doivent résister à la flexion pour retrouver un équilibre dans les âmes, ou dans des cadres transversaux de raidissement (fig. 40 b). Si l'arc affecte le profil de l'onde, le problème est encore plus général car les forces f ont des valeurs variables et sont appliquées à des distances variables du centre de gravité (fig. 40 c). Il convient alors d'adopter des dispositions constructives spéciales pour résister aux efforts engendrés par cette distribution car l'équilibre ne peut se rétablir qu'au prix de flexions transversales importantes, sauf si la section transversale est raidie.

Les valeurs données par l'épure (fig. 39) supposent que

l'on considère la tranche transversale de l'onde de voûte comme un arc à deux articulations fixes quant à leur position horizontale relative. En reliant les talons des ondes tous les 10 m et en donnant aux talons de rive une raideur horizontale suffisante, nous avons réalisé cette hypothèse de calcul. Le calcul en arc encastré (transversal) donnerait une distribution de moments différents mais qui restent sensiblement du même ordre de grandeur.

Le hourdis de voûte de 6 cm d'épaisseur avec talons reliés par des tirants mais sans nervures ou tympans aurait pu résister seul aux flexions secondaires indiquées dans le sens transversal. Les contraintes avec la section supposée homogène restent en effet inférieures à $\pm 20 \text{ kg/cm}^2$ aux fibres extrêmes du hourdis.

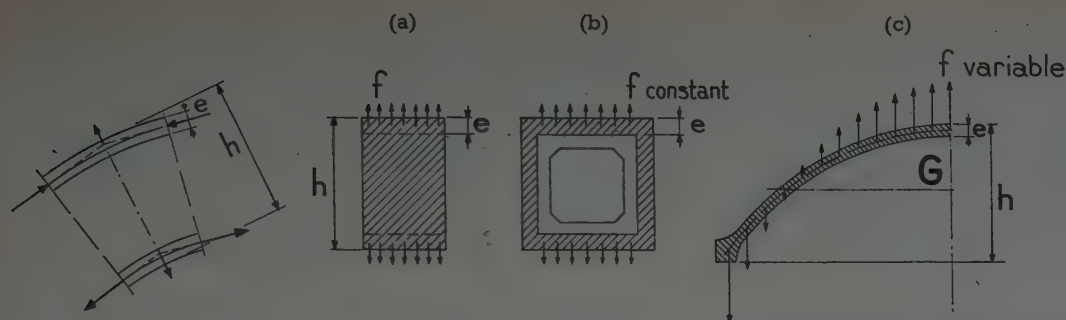


FIG. 40. — Efforts secondaires dans divers types de sections d'arcs.

Il est possible d'imaginer une transmission des efforts secondaires f par flexion longitudinale ou cisaillement (fig. 41). L'ensemble des efforts transversaux doit alors être repris par un élément pratiquement indéformable. Les tympans raidisseurs disposés tous les 10 m répondent aux deux hypothèses ci-dessus. Ils autorisent une réduction des flexions dans le hourdis de voûte à une valeur telle que les tractions secondaires dans le voile sont pratiquement inexistantes. Ils ont été calculés pour pouvoir équilibrer tous les efforts secondaires correspondant à la tranche de 10 m.

c) Retombées.

Considérées comme faisant partie de l'arc de 100 m les retombées n'offrent aucune difficulté de calculs. La détermination des efforts secondaires transversaux est semblable à celle de la partie courante de l'onde. Il faut introduire toutefois les composantes des forces dues au cheminement envisagé figure 12 b pour la concentration de la poussée aux tirants. Les moments secondaires et cisaillements résultants sont assez élevés. Les épaisseurs plus grandes du hourdis permettent de les absorber. Le hourdis est d'ailleurs soulagé par la sablière et par le premier tympan renforcés qui ont la rigidité requise pour reprendre tous les cisaillements.

3° Tirants.

a) Tirants intermédiaires courants.

Lors de la première mise en tension le tirant est assimilé à un tirant de rive et supporte alors une poussée de 207 t. A

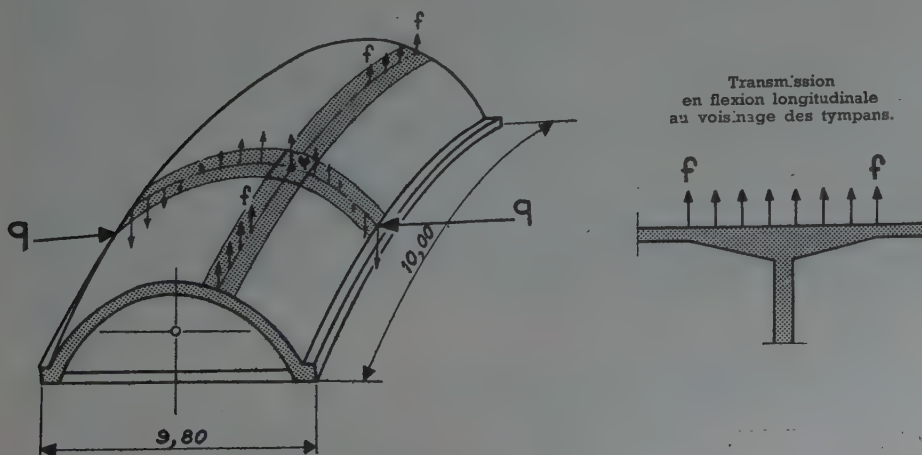


FIG. 41. — Transmission des efforts dans une tranche d'onde entre deux tympans.

la deuxième mise en tension après exécution de l'onde suivante, le tirant reposant encore sur le sol doit résister à la poussée de la charge permanente de l'onde seule, soit 302 t. Enfin, une troisième mise en tension après suspension du tirant à la voûte était complétée par une poussée de 51 t pour précontraindre la gaine extérieure du tirant avant injection de celui-ci. Nous nous sommes limités à cette précontrainte partielle — qui n'était d'ailleurs pas indispensable ⁽¹⁾ — pour ne pas être obligés d'augmenter bien inutilement la section de béton du tirant.

L'allongement des aciers des tirants après la troisième mise en tension atteignait au total 33 cm. La poussée en œuvre dans les cas les plus défavorables de surcharge est de 407 t.

b) Tirant arrière.

Dans l'étude de ce tirant nous avons dû distinguer deux périodes :

- Pendant le levage de la couverture avec suspension provisoire à l'onde ;
- Après levage et pose du vitrage le tirant reposant alors sur les montants (fig. 33).

Sous les effets du vent le tirant dédoublé travaille comme une poutre continue à trois travées inégales, uniformément chargée. Le déplacement des appuis (têtes de contrefiches) a été pris en compte dans les calculs. Sous les charges verticales le tirant fonctionne en poutre continue à dix travées égales avec charge répartie variable.

4° Articulations en béton armé.

Ces pièces vitales, qui ne satisfont pas aux hypothèses de base classiques de la Résistance des Matériaux, ont été déterminées d'après les formules générales de Herz-Weyrauch qui correspondent à la déformation élastique d'un cylindre ou d'une sphère contre un plan, mais en tenant compte de la plasticité du béton et surtout de résultats expérimentaux.

En particulier nous nous sommes reportés aux nombreux précédents, du type Considère-Caquot par roulement, réalisés par notre Entreprise en bielles cylindriques.

⁽¹⁾ M. R. VALLETTE, Cf. « Emploi du fil à haute limite élastique et réglage des contraintes dans les constructions », *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, juillet-août 1951, n° 199, cf. p. 18 à 20. Note de M. ESQUILLAN.

Nous citerons parmi les plus chargées :

Les articulations du pont sur le Chécliff à Orléansville exécutées en 1932 et qui supportent 395 t par mètre de génératrice.

Les bielles cylindriques du passage supérieur du boulevard Pommerol à Lyon, construit en 1942, qui atteignent 488 t par mètre de génératrice sous charges permanentes et sans doute un record avec 745 t/m sous charges et surcharges.

Les articulations cylindriques des hangars de Marignane reçoivent 390 t par mètre de génératrice. Quant aux articulations sphériques, les plus sollicitées supportent une charge ponctuelle de 235 t sous charges permanentes et 261 t sous la totalité des charges et surcharges. Nous avons transposé les résultats obtenus pour les bielles cylindriques par comparai-



FIG. 42. — Appui de la couverture pendant son exécution au sol. Éléments de tête de poteau formant balancier provisoire.

son des formules de Herz applicables au cylindre et à la sphère. Il nous a été donné de vérifier la bonne tenue des articulations ainsi aménagées. Le mode de construction que nous exposerons dans la deuxième partie a conduit à laisser les couvertures au sol appuyées sur des tronçons de poteaux (fig. 42) comportant les articulations sphériques définitives. Pendant 11 mois celles-ci ont reçu la totalité de la charge permanente dans des conditions beaucoup plus défavorables que dans la construction définitive. En effet, la hauteur des balanciers pendant ce stade provisoire était réduite à 2 m au lieu de 8,56 m. Sous les effets de la dilatation, et à déplacement égal, il en résultait des rotations beaucoup plus fortes. Enfin ces pièces placées au-dessous du niveau du sol ont été tantôt immergées, tantôt à l'air suivant les saisons.

Or lorsque nous avons procédé au levage de la couverture, l'examen minutieux des grains d'articulation et de leurs sommiers n'a pu révéler

aucune fissure, aucune déformation, ni même aucune trace du cercle de contact, qui aurait pu être rendu très visible par l'humidité. Bien mieux, les veines du bois de coffrage étaient encore apparentes comme au moment de la pose.

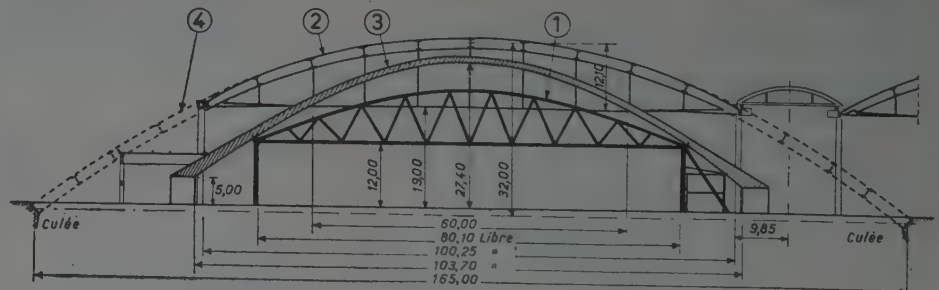
Nous nous limiterons à ces quelques indications concernant les calculs de résistance, dont le développement est beaucoup trop important pour que nous puissions dans cet article en donner même un résumé.

D. — COMPARAISONS

Il n'existe pas à l'heure actuelle, à notre connaissance, de hangars en béton armé du type avec tirants ayant l'envergure de ceux de Marignane. Cela rend difficile une comparaison. Toutefois nous tenterons de les rapprocher des hangars détruits de 80,85 m de Marignane (1939) et des récents hangars de Limestone aux États-Unis (1949) de 103,70 m d'ouverture au sol, traités en arc encastrés sur piliers. La figure 43 montre la superposition des deux systèmes de construction.

L'épaisseur moyenne de béton calculée au-dessus des tirants pour la partie centrale courante (sur 80 m) de l'onde ne dépasse pas 0,117 m³/m² en plan. C'est cette quantité qu'il convient de comparer aux 0,265 m³ des hangars de Limestone, car il aurait été facile d'encasturer une onde type Marignane sur les piliers de 5,00 m de hauteur de ces hangars.

La partie centrale de cette onde prolongée pour retomber au sol sur des culées (fig. 43 ④) pouvait tout en conservant une quantité de béton de l'ordre de 0,12 m³/m² atteindre une portée de 165 m avec 32,0 m de flèche. La contrainte de compression maximum ne serait pas aggravée de façon sensible ; elle resterait inférieure à 80 kg/cm². Mais les moments de flexion sous neige dissymétrique à 25 kg combinée avec l'action du vent et d'une surpression intérieure seraient multipliés par 2,6 environ. Ils introduiraient des contraintes de traction très importantes en particulier dans les talons. Il serait possible de réduire les tensions et d'améliorer la distribution des contraintes en augmentant un peu la hauteur de l'onde et en déplaçant les masses de béton pour modifier la position du centre de gravité de la section transversale.



	OUVERTURE	HAUTEUR	PROFONDEUR	QUANTITÉ	OBSERVATIONS
	libre	libre	libre	béton en m ³ de projection en plan	
① Hangar de la SNCASE à Marignane, 1938.	80,10	12,00	80	0,163 m ³	Quantité pour une travée courante et pour la couverture seule non compris les pignons. Pour ① et ② y compris tirants, sablières et retombées.
② Hangar double de Marignane, 1952.	100,25	19,00	60	0,187	
Hangar double de Marignane. Partie centrale sur 80 m.				0,117	
③ Hangar de Limestone ou de Rapid City (U.S.A.), 1951.	103,70	5 aux naissances 27,40 à la clef	96	0,265	

FIG. 43. — Comparaison des hangars de Marignane avec les plus grands hangars réalisés antérieurement.

DEUXIÈME PARTIE

EXÉCUTION DES TRAVAUX

I. — MOYENS MATÉRIELS D'EXÉCUTION

A. — INSTALLATIONS DE CHANTIER

Les installations de chantier visibles sur les figures 44 et 45 comprenaient essentiellement :

— Une centrale électrique équipée de :

Deux groupes Bentz de 50 kVA chacun;
Un groupe de secours Berliet de 50 kVA;
Un groupe d'éclairage Patay de 4 kVA;

— Un atelier de mécanique;
— Un atelier de menuiserie;
— Un groupe pour préparation du béton (fig. 46);
— Un chantier de préfabrication (fig. 47);
— Les magasins, bureaux et autres installations habituelles.

Pour les ouvriers étaient prévus : des vestiaires, des dortoirs et une cantine.



1. Garages;
2. Salle de réunions;
3. Bureaux de direction et de surveillance de chantier;
4. Groupes de fabrication du béton;
5. Ateliers à bois;

6. Magasin à ciment;
7. Atelier de mécanique;
8. Magasin à matériel;
9. Centrale électrique et air comprimé;
10. Épure de traçage;

11. Cantine et dortoirs;
12. Chantier de préfabrication;
13. Cintres en cours de montage;
14. Emprise du hangar en cours de terrassement;
15. Fouilles des semelles de fondations.

FIG. 44. — Installations de chantier.

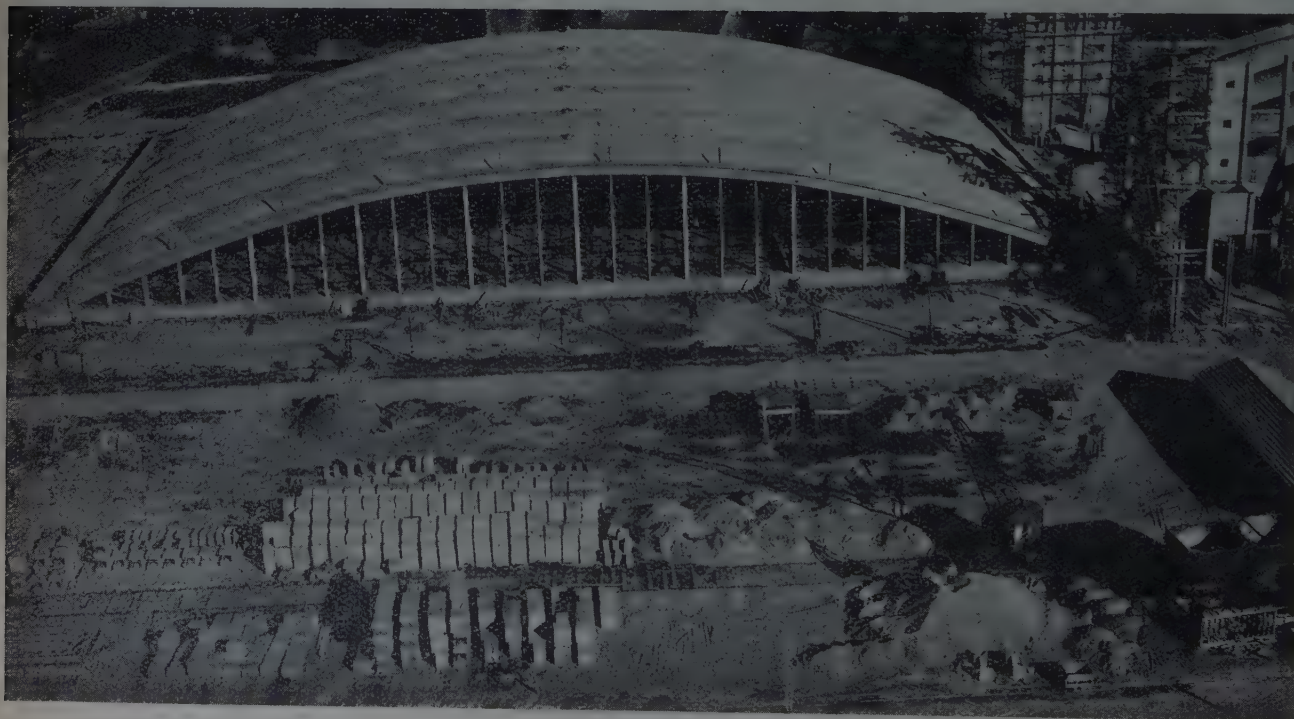


FIG. 45. — Installations de chantier.
Vue en cours d'exécution des couvertures au sol.



FIG. 46. — Groupe de préparation du béton.

FIG. 47. — Chantier de préfabrication
desservi par une grue Kaiser.
Stockage des éléments préfabriqués de poteaux.



B. — MATÉRIEL UTILISÉ

Comme sur tout chantier courant de béton armé nous disposons de : bétonnières, vibrateurs, treuils, machines à bois, tubes d'échafaudages, etc.

Le matériel spécial comprenait :

- Des vérins hydrauliques de 300 t à écrous de sécurité avec pompes, tuyauteries et distributeurs ;
- Deux grues Nordest 60 036 (fig. 48) ;
- Une grue Kaiser sur rails desservant le chantier de pré-fabrication (fig. 45 et 47) ;
- Des camions pour le transport du béton (fig. 48) ;
- Une remorque spéciale pour le transport des éléments préfabriqués (fig. 49).

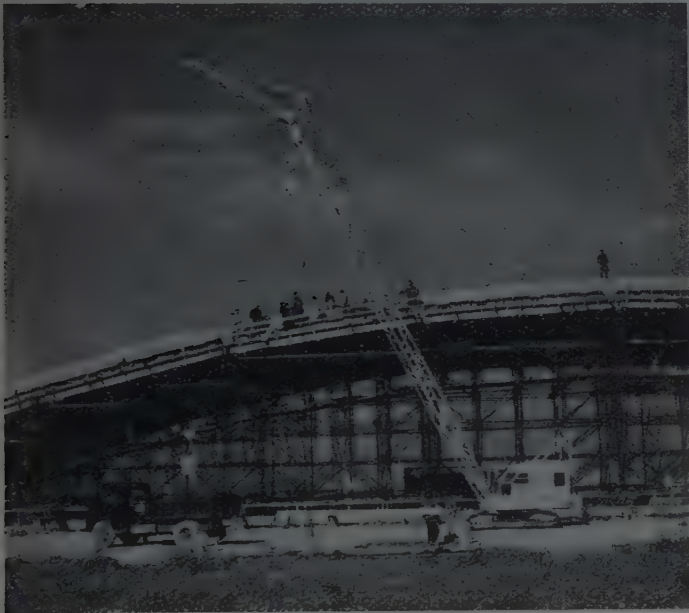


FIG. 48. — Grue Nordest et camion transportant le béton de la bétonnière aux coffrages pendant le bétonnage d'une onde.

C. — MATÉRIAUX

Aciers.

— Les aciers de toute l'ossature hormis les tirants sont des aciers mi-durs ayant pour caractéristiques :

Limite de rupture	55 à 64 kg/mm ²
Allongement de rupture ..	A > 16 %

La limite élastique de ces aciers peut varier de 32 kg/mm² pour les gros diamètres de ronds, à 36 kg/mm² et au delà pour les petits diamètres.

— Le Métal Déployé des hourdis de couverture est obtenu à partir de tôles d'acier doux de limite élastique supérieure à 24 kg/mm².

— Les aciers des tirants, désignés sous l'appellation : fil en acier Martin patenté LM9, présentent les caractéristiques ci-après :

Limite de rupture	> 140 kg/mm ²
Limite élastique sur fil étiré à 1 %	> 110 kg/mm ²
Allongement de rupture ..	A > 8 %

Ils étaient livrés en fil de 6 mm de diamètre enroulés en couronnes pesant 140 à 150 kg, ce qui représente une longueur d'environ 650 m.

Bétons.

Le ciment utilisé était du Portland artificiel 250/315 Flambeau de la Société Coloniale des Chaux et Ciments Portland de Marseille.

Dosages en ciment par mètre cube de béton vibré en œuvre :

Béton de fondation non armé.	300 kg/m ³
Béton armé des semelles, poteaux exécutés en place, éléments de façades	350 kg/m ³
Béton des voûtes de couverture et éléments préfabriqués des poteaux porteurs	400 kg/m ³
Béton fretté des articulations et culots d'ancrage	500 kg/m ³

La granulométrie (fig. 50 a) a été étudiée par les Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics suivant les méthodes de M. R. VALLETTE ⁽¹⁾.

Composition type du béton à 400 kg pour voiles minces :

Gravier 10/20	890 litres
Sable 0/8	430 litres
Ciment	400 kg
Eau	150 litres

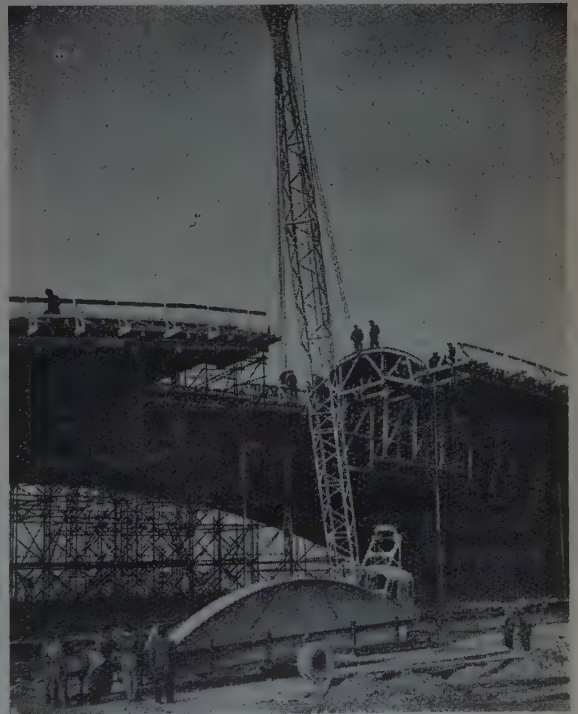


FIG. 49. — Remorque transportant des tympans préfabriqués.

⁽¹⁾ Composition des bétons. Mise au point de la question. R. VALLETTE, *Annales de l'Institut du Bâtiment et des Travaux Publics*, n° 66, mars-avril, 1949.

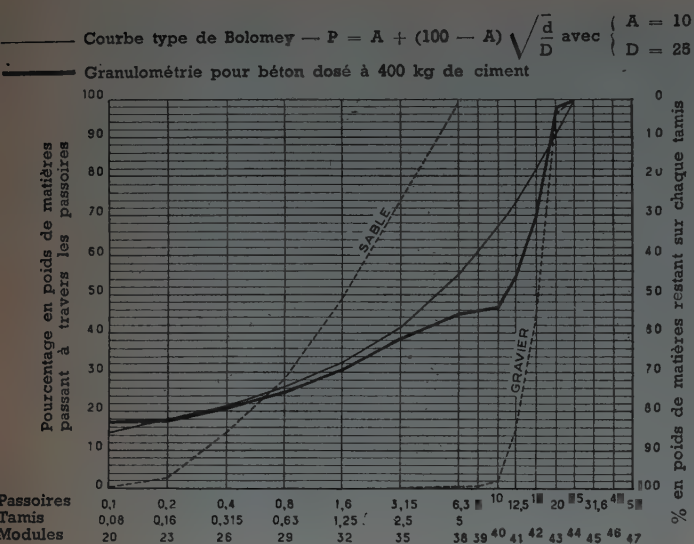


FIG. 50 a. — Granulométrie du mélange comparée à la courbe-type de Bolomey.

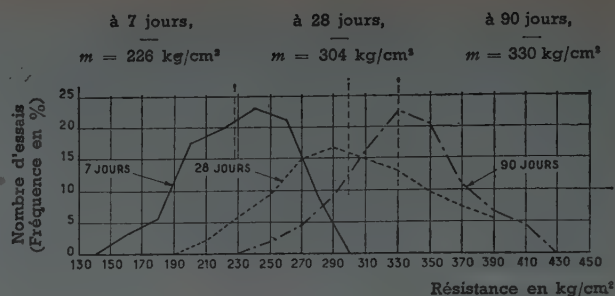


FIG. 50 b. — Diagramme de fréquence des résistances à l'écrasement sur 415 cubes de béton à 7, 28 ou 90 jours, dosés à 400 kg de ciment 250/315 par mètre cube.

La résistance à la compression sur cubes de 20 cm d'arête a constamment été contrôlée par des essais sur le chantier qui disposait d'une presse. La figure 50 b donne les courbes de dispersion à 7, 28 et 90 jours pour les bétons au dosage de 400 kg/m^3 utilisés.

Le tableau ci-dessous résume l'étude statistique des résultats obtenus pour les divers dosages à ces mêmes époques :

		N	m	σ	ρ	q	MINIMA	MAXIMA
Béton à 350 kg	7 jours	14×3	kg/cm^2 196	kg/cm^2 37,2	% 18,7	kg/cm^2 25	kg/cm^2 145	kg/cm^2 252
	28 jours	13×3	268	57	21,2	39,5	180	388
	90 jours	11×2	315	53,8	17,00	36,4	237	410
Béton à 400 kg	7 jours	56×3	226	31	13,70	21	163	283
	28 jours	53×3	304	49,8	16,40	33,6	200	412
	90 jours	41×2	330	39,4	11,90	26,6	250	410
Béton à 500 kg	7 jours	18×3	272	39,6	14,50	27	197	336
	28 jours	17×3	345	42,5	12,40	28,8	229	423
	90 jours	17×2	385	41,8	11,00	28,2	258	449

Nota. — La signification des lettres en tête de chaque colonne est :

N, nombre d'essais exécutés

m , moyenne arithmétique donnée par $m = \frac{1}{N} (R_1 + R_2 + \dots + R_N)$

σ , écart type défini par $\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum (R - m)^2$

ρ , écart quadratique relatif en % ou degré de dispersion = $\frac{100\sigma}{m}$

q , quartile : écart au delà duquel se trouve la moitié des observations = $0,675\sigma$

(1)

(1) Cf. Étude M. R. L'HERMITE, Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, n° 62, février 1949.



FIG. 51. — Situation du chantier (cf. fig. 2.)

II. — PHASES ET PROCÉDÉS D'EXÉCUTION

A. — COUVERTURE DES CELLULES DE 100×60 m

L'exécution de la couverture des cellules comprend deux phases essentielles :

- Une exécution au sol ;
- Un levage de 19 m d'amplitude pour les amener à leur niveau définitif.

1^o Exécution au sol.

a) Nivellement et fouilles.

Avant tout, la surface du terrain dans l'emprise des hangars

a subi un nivellement général à l'aide d'engins mécaniques (fig. 44 et 52). Le hériçon et l'empierrement cylindré prévus sous le dallage en béton (p. 848) ont été exécutés pour permettre de disposer d'une plateforme propre et résistante facilitant le travail des hommes ainsi que le roulage et le réglage des échafaudages.

Le dessous des tirants était coffré directement sur cette aire de telle sorte que le point le plus haut de l'onde terminée était à 13,50 m au-dessus du sol (fig. 27). Le coffrage des tirants et des butons ne comportait ainsi que des calages à l'exclusion de tout étayage.

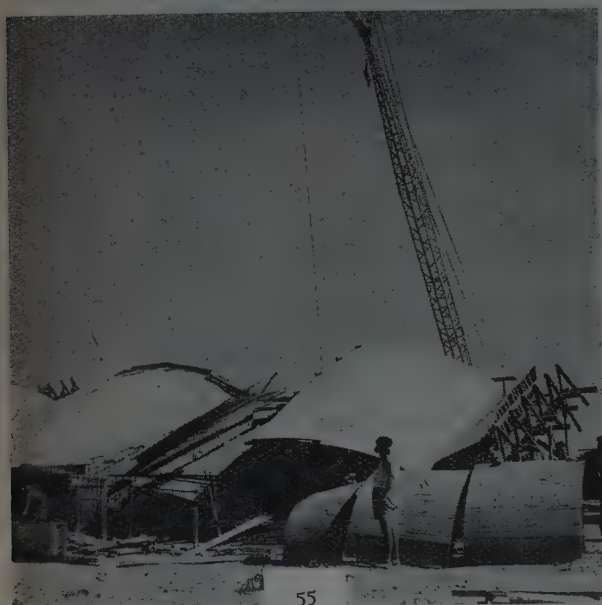
Les fouilles pour les fondations (fig. 53.) furent exécutées en même temps que le nivellement. Le terrain très dur nécessitait l'utilisation de pelles bèches pneumatiques.



FIG. 52. — Nivellement du sol au bulldozer.



FIG. 53. — Fouilles pour fondations.



b) Exécution des retombées.

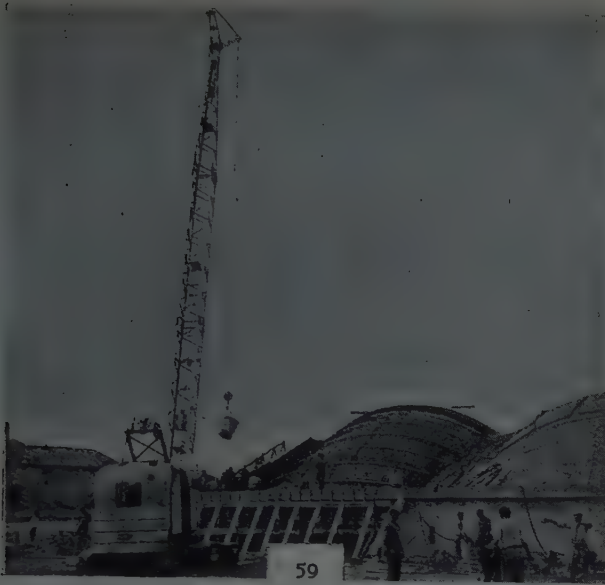
Les retombées, constituant des sortes de culées pour la partie centrale de 80 m courante de l'onde, nécessitaient un béton ayant acquis la résistance à 28 jours au moment du décentrement. De plus, leur forme relativement compliquée et leur ferrailage important auraient retardé la cadence générale si leur exécution avait été simultanée à celle de l'onde correspondante. Pour ces deux raisons il convenait de les exécuter à l'avance à l'aide d'échafaudages spéciaux.

Les figures 54 à 63 et leurs légendes décrivent un cycle complet d'exécution d'une retombée comprenant : coffrage, ferrailage, bétonnage, décoffrage. Il convient de remarquer que les coffrages étaient :

En partie basculants et roulants suivant le principe des coffrages de la partie courante de l'onde ;

En partie démontables par panneaux.

Le ferrailage est mixte : acier rond et métal déployé. Le tracé en escalier de la reprise de bétonnage était choisi de façon à éviter que cette section, qui constitue toujours un point faible, ne soit soumise à des efforts d'extension.



COFFRAGE

FIG. 54. — Première demi-coquille de coffrage rabattue en cours de ripage.

FIG. 55. — Première demi-coquille relevée. Deuxième demi-coquille en cours de ripage.

En premier plan les panneaux de coffrage démontés à chaque emploi.

FIG. 56. — Les deux coquilles relevées.

FIG. 57. — Jonction des deux demi-coquilles par ripage.

FIG. 58. — Achèvement.

BÉTONNAGE

FIG. 59 et 60. — Bétonnage d'une retombée.

DÉCOFFRAGE

FIG. 61. — La première demi-coquille est basculée et ripée. Basculement de la palée d'appui de la deuxième demi-coquille.

FIG. 62. — Basculement de la deuxième demi-coquille retenue par des palans.

FIG. 63. — Ripage au treuil de la deuxième demi-coquille.





FIG. 64. — Finition de l'échafaudage en dehors de l'emprise du hangar.

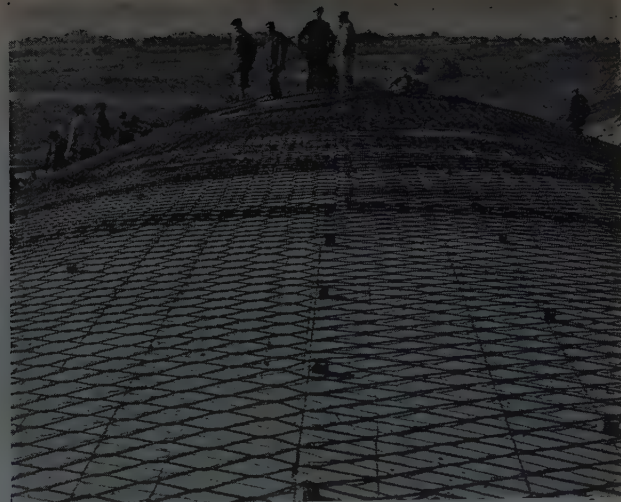


FIG. 67. — Ferrailage du hourdis mince.



FIG. 65. — Fermes articulées reposant sur leurs palées basculantes.



FIG. 66. — Coffrage terminé. Manœuvre d'essai. Une palée basculante rabattue, demi-coquille prête à pivoter.



FIG. 68. — Ferrailage du talon.

c) Exécution de la partie courante des ondes.

Le cycle complet d'exécution d'une onde est illustré par les figures 64 à 73.

Les échafaudages, de hauteur relativement réduite par le fait de l'exécution au sol de la couverture, ont été montés en dehors de l'emprise du hangar pendant l'exécution des terrassements (fig. 64) puis roulés par tronçons de 10 m en position de première utilisation dans le prolongement des premières retombées exécutées préalablement.

Les coffrages sont basculants (fig. 66 et 73).

Le décintrement d'une onde est opéré en mettant en

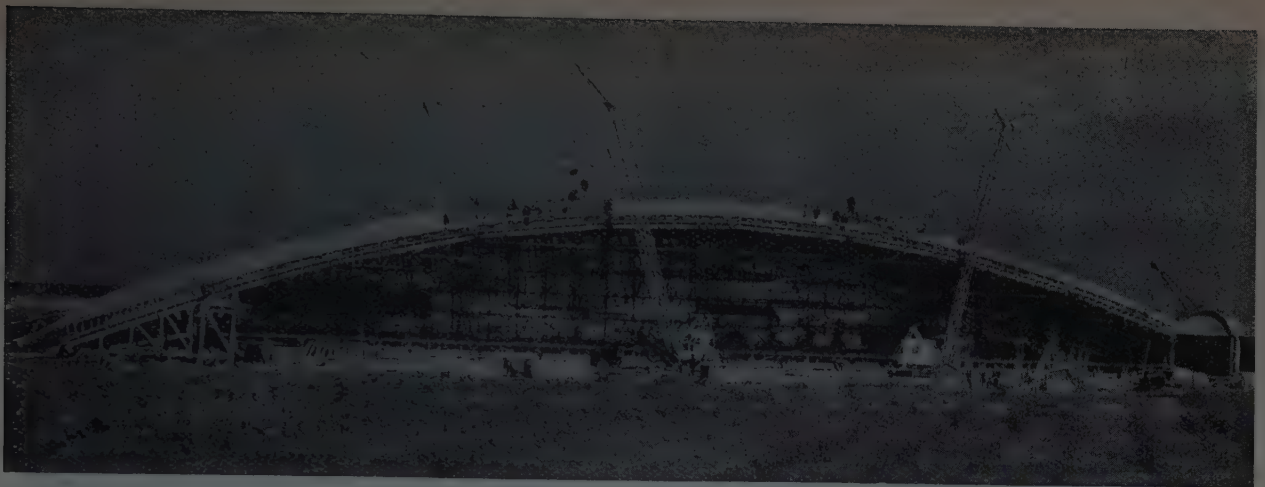


FIG. 69. — Moyens de mise en œuvre du béton.



FIG. 70. — Répartition du béton, vibration, dressage et lissage.



FIG. 71. — Ferrailage d'un culot d'ancrage. Les aciers du tirant traversent la retombée exécutée préalablement.

tension le tirant et en abaissant corrélativement les coffrages au moyen des fourches vérins de l'échafaudage. Les retombées sont maintenues fixes pendant toute l'opération (fig. 72). A l'occasion de cette manœuvre il nous paraît intéressant d'indiquer déjà quelques avantages considérables de l'exécution au sol. Les lourds vérins de 300 t pour la mise en tension pouvaient être passés d'un culot d'ancrage au suivant en les roulant à terre. L'opération de décintrement était aisée à préparer et à conduire (fig. 72). Les déformations pouvaient être mesurées avec précision, les points fixes au sol se trouvant à proximité. A 19 m de hauteur il en eût été tout autrement. Il aurait



FIG. 72. — Décintrement d'une onde. Culot d'ancrage équipé de deux vérins au cours de la mise en tension du tirant.



FIG. 73. — Décoffrage d'une onde. Le dernier tronçon de coffrage basculé prêt pour le ripage.

fallu construire des échafaudages importants et des passerelles pour la manipulation des vérins. Les réglages et les mesures auraient été moins précis.

Le voisinage immédiat du sol a réduit à néant les conséquences d'un incident, qui aurait pu être sérieux à grande hauteur. Aussitôt après suspension d'un tirant une première suspente cassa, puis les deux voisines. Ces ruptures risquaient de se propager de proche en proche sur la même file. Le sol juste sous le tirant, puis un recalage permit de stopper le processus, d'en analyser les causes et d'y remédier. Pour laisser passer les échafaudages, les barres « en attente » des suspentes avaient été pliées sous la voûte puis redressées : mode d'exécution classique. Mais parmi les aciers mi-durs normaux qui offraient une ductilité suffisante, et malgré les contrôles, s'était glissé un petit lot de ronds en acier dur et cassant, d'où les ruptures en chaîne constatées.

d) Préfabrication.

Afin de simplifier, d'améliorer et d'accélérer l'exécution, la préfabrication sur chantier fut largement utilisée pour des éléments dont le poids n'excédait pas 5 t.

Ainsi, les tympans des ondes, dont l'exécution en place aurait sérieusement compliqué les coffrages et ralenti le bétonnage, ont été préfabriqués (fig. 74 et 75), puis transportés sur une



FIG. 74. — Préfabrication des tympans. Ferrailage et coffrage.

75



76



77



FIG. 75. — Au début des travaux : — Stock de tympan préfabriqués. — Échafaudage de la partie courante des ondes prêt à être roulé en position de première utilisation.

FIG. 76. — Levage d'un tympan préfabriqué à la grue.

FIG. 77. — Pose d'un tympan sur l'extrémité d'un élément d'échafaudage avant ripage de l'élément suivant.

FIG. 78. — Vue intérieure des cellules. Pignon arrière. Les tympan des voûtes d'appentis et les montants de façade ont été préfabriqués.

78



FIG. 79. — Panneau de contreventement avant. Voiles ajourés préfabriqués.

79

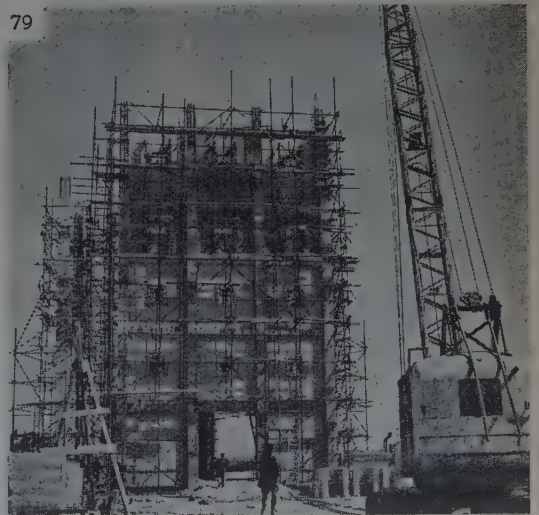




FIG. 80. — Exécution des premières retombées. Juillet 1950.

remorque spéciale et posés à la grue au fur et à mesure du réglage des éléments d'échafaudage (fig. 76 et 77).

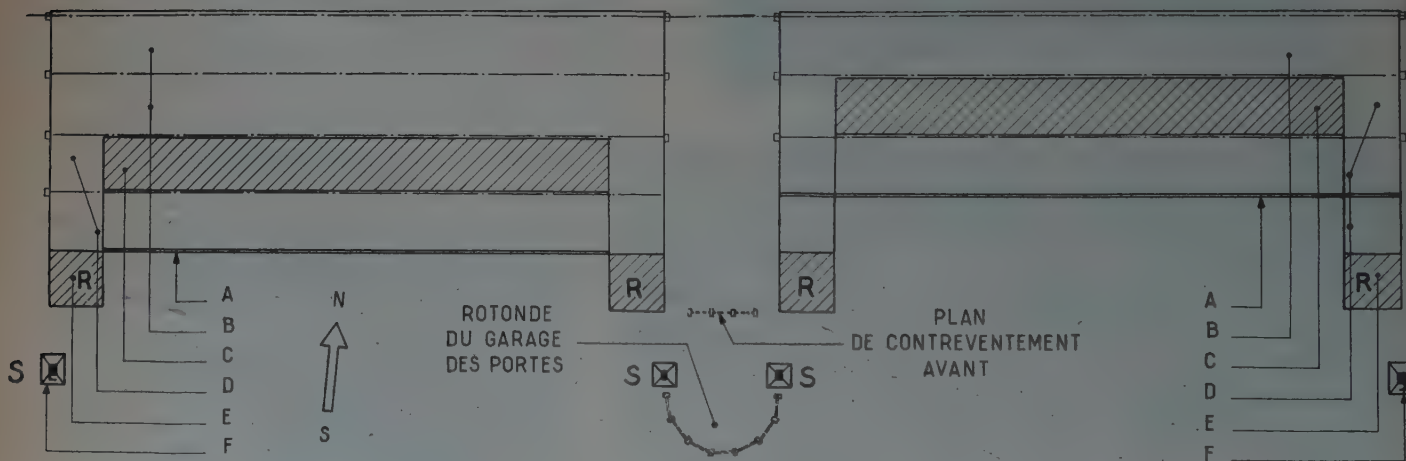
De même les tympans des pignons des voûtes d'appentis (fig. 78), les montants des façades des cellules, les éléments des poteaux définitifs posés au cours du levage, les voiles ajourés des plans de contreventement (fig. 79) situés dans l'entre-cellule furent préfabriqués.

Nous verrons plus loin une application de la préfabrication

plus poussée avec l'exécution des tronçons de voûte de la couverture de l'entre-cellules (p. 879).

e) Phases d'exécution au sol.

Les figures 80, 82 et 83 donnent trois états d'avancement de travaux aboutissant aux couvertures terminées au sol prêts pour le levage et le schéma figure 81 expose la succession des différentes phases.



- A. Deux tirants en cours d'exécution;
- B. Trois ondes terminées et décintrées;
- C. Deux ondes partie courante en cours d'exécution;

- D. Dix retombées terminées sur étais;
- E. Quatre retombées R en cours d'exécution;
- F. Quatre semelles S prêtes à recevoir les retombées.

FIG. 81. — Schéma des phases d'exécution des couvertures au sol.
État d'avancement des travaux le 4 novembre 1950.

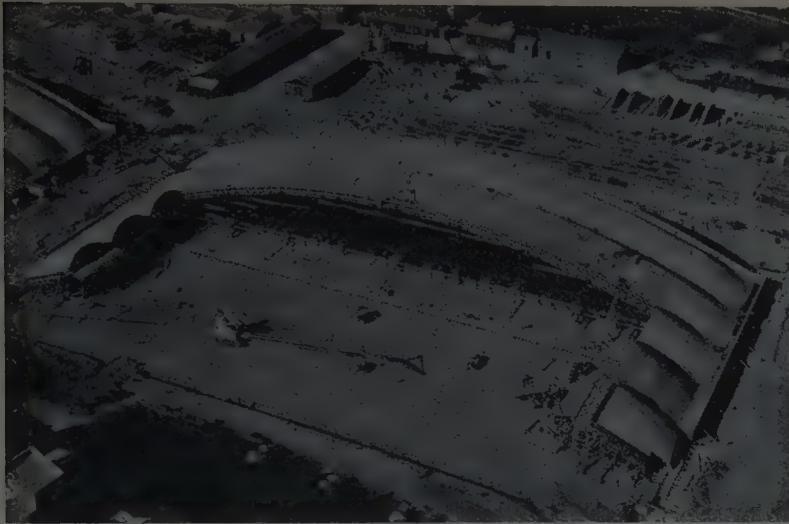


FIG. 82. — Couvertures en cours d'exécution. Deux ondes exécutées dans la cellule Est. Trois ondes exécutées dans la cellule Ouest. A l'arrière-plan le chantier de préfabrication avec éléments de tympans et de poteaux (4 novembre 1950).

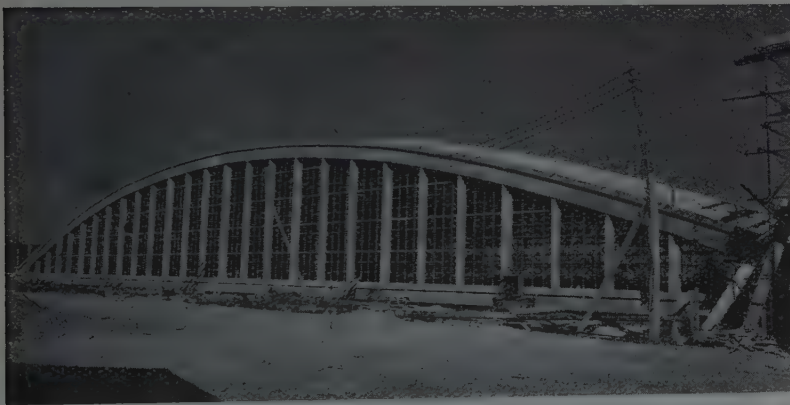


FIG. 83. — Couvertures terminées au sol (pignon arrière).
Mai 1951.

2° Levage de la couverture.

a) Précédents.

Une opération de cette envergure, tant par la masse levée que par la course de levage, est à notre connaissance sans précédent sur un chantier de Travaux Publics ou de Bâtiment.

(¹) Nota. — Cette charge moyenne qui correspondait aux indications des manomètres (4 100 à 4 300) pendant les levages est de 5 % environ supérieure aux prévisions de calculs. Cette différence est due à l'imprécision des manomètres, à quelques surépaisseurs sur les pièces de l'ossature et au poids spécifique assez élevé du béton.

Cette réalisation est l'aboutissement d'idées déjà envisagées par M. BOUSSIRON et que nous mûrissions depuis longtemps. Dès 1934 à l'aérodrome de Toulouse-Francazals, pour un hangar berceau carré de 52 × 52 m et 10 m sous-entrait reposant seulement sur quatre poteaux, un à chaque angle, nous avions envisagé l'exécution au sol et le levage. Un brevet fut pris à cette époque.

Ce procédé avait été repris en 1945 lors d'un concours pour un hangar hexagonal de 82 m de côté et de 20 m sous-entrait, qui devait être édifié à l'aéroport d'Alger-Maison-Blanche. L'ensemble des dispositions constructives et d'exécution, ainsi que son prix, avaient fait retenir ce projet par la Commission de jugement. Par suite de la suppression des crédits l'affaire n'eut malheureusement pas de suite.

Dans ces deux projets le nombre limité de points d'appui et leur grand espacement constituaient des conditions favorables à l'opération envisagée (fig. 84).

Bien que ces conditions fussent moins bonnes pour les hangars de Marignane, ces études antérieures, par des mises au point successives, nous montrèrent que la réalisation du levage était possible et rentable par suite de la hauteur sous-entrait de 19 m et de la répétition sur deux cellules.

b) Problème posé et étude préalable de rentabilité.

Le problème se posait ainsi :

— Lever une surface hors tout de 6 400 m² pesant 4 200 t. réparties en :

Couverture	2 900 t
Arc et pignon avant	600 t
Pignon arrière	550 t
Installations de levage	150 t
	4 200 t (¹)

sur deux files de sept points d'appui l'un d'eux étant double vers la façade avant (fig. 85 et 90); la dénivellation entre deux points d'appui successifs ne devant pas dépasser 5 mm environ pour éviter la fissuration des sablières et de leurs bords relevés d'une raideur considérable eu égard à l'espacement de 9,80 m entre deux appuis.

Pour notre étude nous nous étions imposé un certain nombre de conditions que nous jugeons essentielles pour réussir tant au point de vue technique qu'économique :


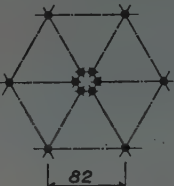
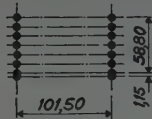
ANNÉE	DÉSIGNATION DES HANGARS	SCHEMAS DES POINTS D'APPUI Cotes en m	Nbre de Points d'appui	HAUT. DE LEVAGE	POIDS	SURFACE LEVÉE
1934	TOULOUSE FRANCAZAL (PROJET)		4	10 m	1 400 t	2 700 m ²
1945	ALGER MAISON BLANCHE (PROJET)		12	20 m	6 500 t	17 200 m ²
1950	MARIGNANE (EXÉCUTION)		16	19 m	4 200 t	6 400 m ²

FIG. 84. — Études de levage.

Nota. — Les surfaces levées et les charges correspondantes ne sont pas comparables.

Pour le hangar hexagonal de larges lanternes allégeaient la couverture.

Pour le hangar de Marignane, voir décomposition du poids, page 867.

— Conserver les efforts toujours centrés suivant leurs axes définitifs. Ceci à n'importe quelle phase ou reprise au cours des opérations, afin d'éviter, étant donné les forces en action, des moments fléchissants ou efforts tranchants inadmissibles dans l'ossature.

— Assurer la libre dilatation pendant tout le levage.

— Disposer pendant toute la manœuvre d'une sécurité égale à celle de l'ouvrage terminé.

— N'utiliser que des moyens simples et du matériel de chantier sans faire appel à des procédés mécaniques onéreux.

— Ne rien ajouter comme pièce de contreventement ou de levage qui ne serve à la construction définitive.

Dans une exécution à hauteur définitive le levage avec les engins mécaniques habituels — grues ou sapines — aurait nécessité en toute occurrence, pour élever de 19 m supplémentaires les 4 000 t de matériaux de la toiture, une dépense correspondant à environ 2 000 heures de grutier et aides et 1 500 kW. Ceci sans tenir compte du levage de 19 m supplémentaires pour tous les éléments de coffrage et d'échafaudage — ni de l'amortissement des grues de 35 m de hauteur beaucoup plus importantes que celles utilisées à proximité du sol.

A cause du vent — et à Marignane il eût été téméraire de compter sur une absence de mistral — les dimensions des échafaudages croissent rapidement avec la hauteur, d'où des prix de location, de montage, de roulages et de démontage assez élevés. Enfin le travail à grande hauteur conduit à une baisse de rendement chez les ouvriers et à l'octroi de primes dites précisément « de hauteur » qui aggravent les salaires horaires et augmentent le coût de la construction. Tous ces facteurs ont été appréciés et ont servi à établir la courbe E du graphique (fig. 86).

Pour une exécution au sol, le prix des échafaudages est relativement réduit mais il convient de remarquer que le levage nécessite même pour les très faibles hauteurs l'installation et la mise en œuvre à peu près des mêmes moyens que pour un levage à grande hauteur. En outre au départ il existe toujours un réglage et des mises au point qui font que les premières levées sont plus onéreuses (figurées sur la courbe L). Il existe donc pour une construction donnée une dépense fixe appréciable représentée par l'ordonnée à l'origine de la courbe L du graphique (fig. 86) et qui est inhérente au procédé. Ensuite le coût du levage est à peu près proportionnel à la hauteur.

FIG. 85. — Long pan intermédiaire. File de sept appuis dont un jumelé.



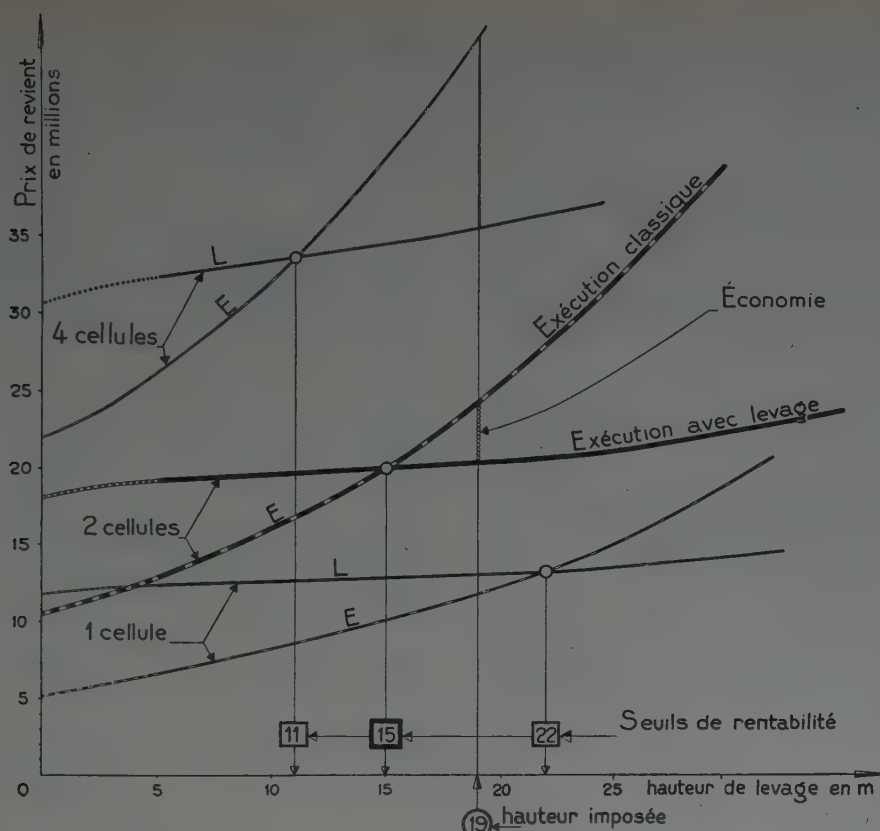


FIG. 86. — Diagramme de rentabilité du procédé d'exécution.

Perspective

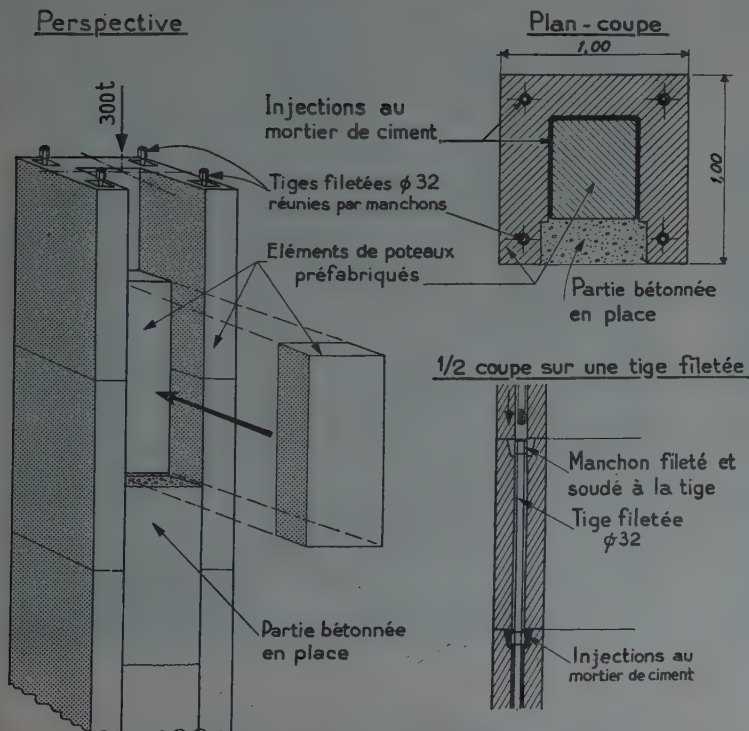


FIG. 87. — Constitution des poteaux.

Autant qu'il est possible, faute de recoupements suffisants, d'évaluer le prix exact d'ouvrages exceptionnels, le diagramme traduit la comparaison préalable que nous avons faite dans les conditions spéciales de Marignane. Il montre que pour deux cellules et un levage de 15 m nous aurions pu hésiter à prendre les risques de l'opération, mais que pour 19 m elle devait être intéressante.

Les ordonnées de la courbe E correspondent à un échafaudage de 27 m de hauteur moyenne passant d'une cellule à l'autre et roulant douze fois. Les ordonnées de la courbe L correspondent à deux échafaudages de 8 m de hauteur moyenne roulant six fois, plus deux levages de 19 m pour chacun desquels nous avons prévu une durée moyenne de 30 jours.

Les courbes montrent également qu'avec le programme initial d'une seule cellule le levage n'aurait pas été rentable et que, par contre, pour l'exécution des quatre cellules prévues au marché de 1944, le gain eût été considérable : le triple de celui relatif à deux cellules.

c) Description des moyens et du matériel utilisé.

Constitution des poteaux (fig. 87).

Conformément aux conditions que nous nous étions fixées (p. 868) ce sont les poteaux définitifs, aménagés de façon convenable au but proposé, qui ont servi de colonnes de levage.

Les poteaux ont été divisés en tronçons de 1,06 m de hauteur. Chaque tronçon comportait un élément en forme d'U et un élément prismatique. Ces éléments en place étaient décalés d'une demi-hauteur de telle sorte qu'il n'existait jamais de coupure complète.

Tous ces éléments ont été préfabriqués. Chaque série, en U ou prismatique, était coffrée et ferrillée horizontalement sur le sol, sur une longueur correspondant à la hauteur totale du poteau. Les éléments de 1,06 étaient alors coulés de deux en deux. Après leur prise, le bétonnage des éléments intermédiaires était réalisé. Les faces en contact se moulait ainsi rigoureusement l'une sur l'autre et à la mise en place des éléments repérés, le contact était parfait sans aucune interposition de mortier.

La précision était d'autant plus nécessaire que les éléments en U comportaient à chaque angle, exécuté avec du matériel Ductube au moment du bétonnage, un « trou » cylindrique qui permettait d'introduire des tiges métalliques filetées de 32 mm de diamètre, vissées après la pose de l'élément. Ces tiges, jouant le rôle d'armatures définitives après injection, prévenaient contre un flambage, un renversement ou un glissement engendrés par un défaut éventuel d'exécution ou une fausse manœuvre.

Après chaque levage de 1,06 m (fig. 88) la section du poteau était complétée par un bétonnage avec prise accélérée du béton par vibration et essorage par le procédé Vacuum Concrete (fig. 89) (panneau de coffrage avec production d'une dépression de 0,8 kg/cm² environ absorbant l'eau en excès et serrant le béton).

Tous les vides subsistant alors, soit entre les tiges filetées et le béton, soit entre les éléments de poteaux en U et pris-

matiques, furent ensuite injectés de mortier sous pression (fig. 87).

Toutes ces dispositions étaient telles qu'à tout moment du levage et quel que soit l'élément, la charge, agissait toujours sensiblement au centre de gravité des sections partielles ou totales.

De même sur le poteau qui supportait à la fois l'arc avant et la première onde de couverture, une disposition spéciale avec palonnier en béton armé avait été adoptée (fig. 90) pour que les charges inégales de la toiture puissent se répartir également sur les deux vérins de 300 t et les poteaux jumelés de 1,00 de côté semblables aux poteaux courants (fig. 85).

Les vérins hydrauliques de 300 t à écrou de sécurité au nombre de 16 étaient disposés la tête en bas, avec le fond encastré (fig. 91) dans le premier élément de poteau terminé sous la sablière, comme nous l'avons décrit, par une articulation sphérique (fig. 42).

Cette articulation était bloquée par des cales en bois dur disposées pour éviter un « agenouillement » accidentel du tronçon supérieur. Cependant, grâce au léger jeu des vérins et à de petites déformations de ces cales, l'ensemble constituait un balancier et permettait les dilatations (fig. 92).

Toute la couverture se trouvait ainsi appuyée avec les mêmes réactions qu'en situation définitive.

Le piston des vérins prenait appui sur une plaque en acier répartissant la pression sur les cales. Cette plaque était munie de quatre puissants ressorts de rappel qui, après chaque reprise de charge, faisaient remonter rapidement le piston en vue d'une nouvelle levée (fig. 91, 92 et 96).

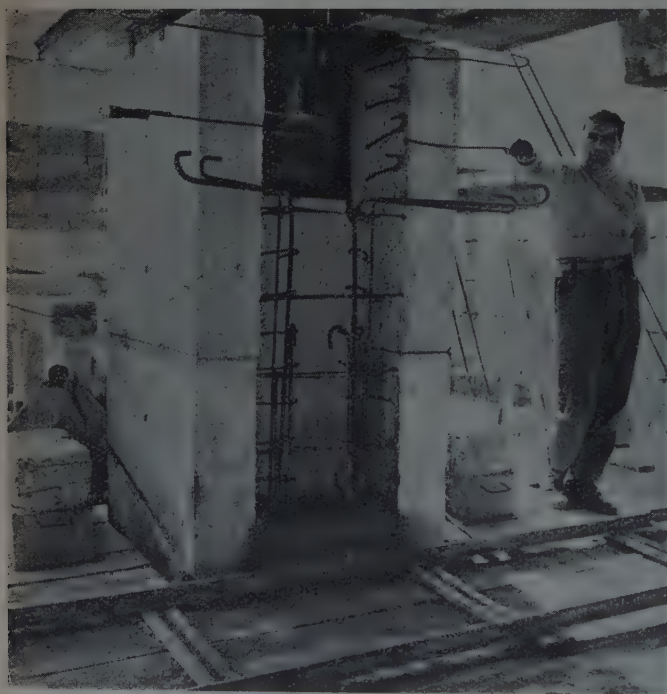


FIG. 88. — Paroi de fermeture.
Redressage des aciers en attente. Ferrailage.



FIG. 89. — Paroi de fermeture. Bétonnage avec vibration et application du procédé Vacuum Concrete.

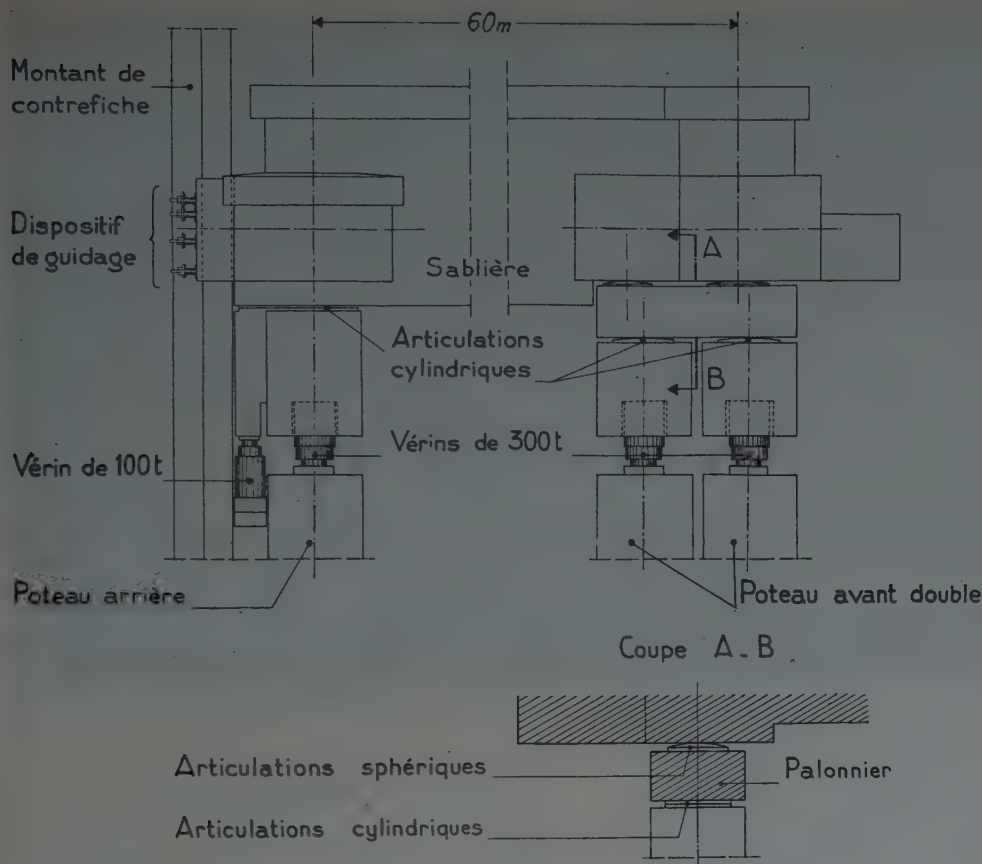
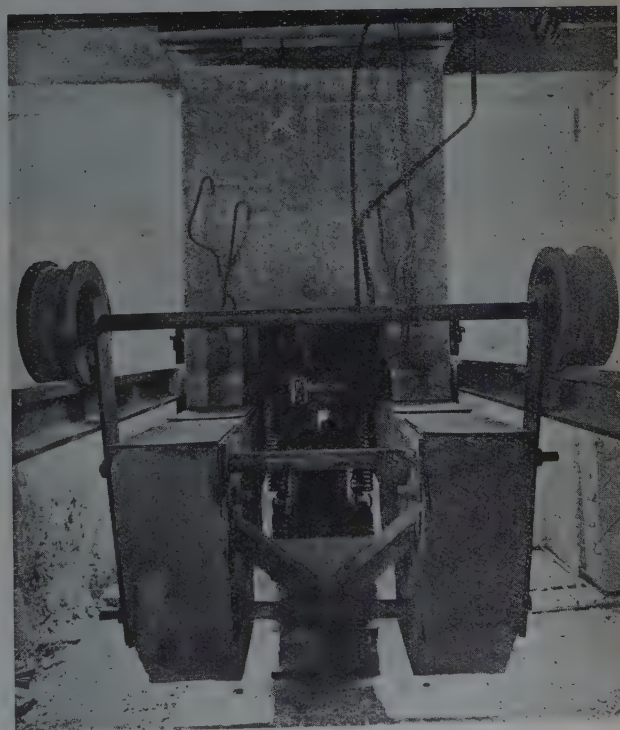


FIG. 90. — Dispositions en tête des poteaux extrêmes d'un long pan.



FIG. 91. — Vérin de 300 t encastré dans le premier élément de poteau.

FIG. 92. — Dispositif de levage au départ pour un poteau. Premier élément de poteau avec articulation sphérique en tête, bloquée par des calages. Vérin de 300 t piston sorti, avec ressorts de rappel. Tuyauteries. Vannes. Lampes témoins. Cales étagées.

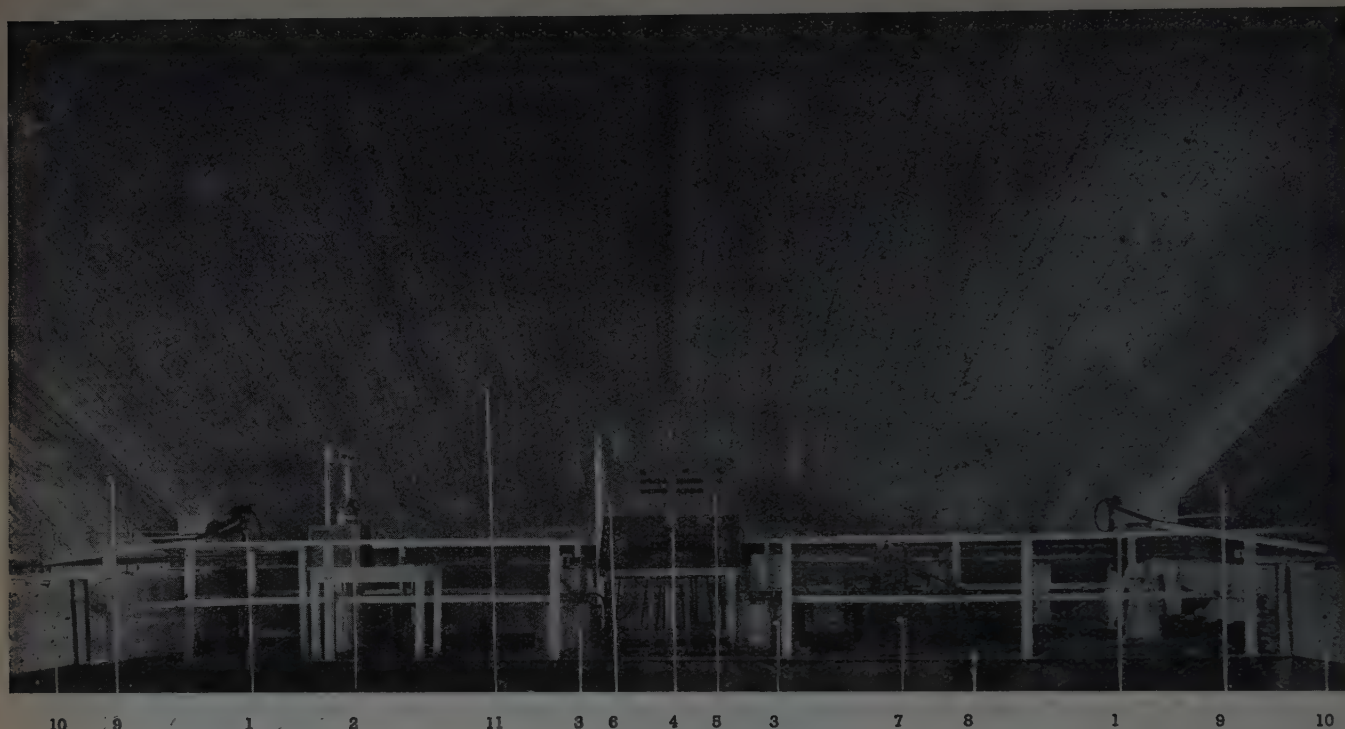


L'encastrement du vérin dans l'élément supérieur du poteau avait été étudié pour laisser la possibilité de substituer sans perdre trop de temps un nouvel engin en cas de fonctionnement défectueux de celui en place.

A chaque poteau six cales centrales en béton fretté, dont cinq de 0,1875 m d'épaisseur et une en azobé, ainsi que 2×2 cales latérales complétées par des cales étagées (fig. 91, 92 et 99) servaient aux reprises après chaque course de 0,20 à 0,22 du piston du vérin. Pour éviter des épaufrures et pour rattraper certains petits écarts, des cales latérales de contact en bois surmontaient toujours les cales en ciment.

Guidage de la couverture.

Les seize poteaux isolés, sur lesquels reposait la couverture, étaient incapables d'assurer la stabilité au vent. Leur flexibilité aurait rendu la manœuvre impossible après quelques mètres de levage par le fait des déformations de flambage. Celles-ci étaient d'autant plus à craindre que les poteaux se trouvaient encastrés au sol et libres en tête. La couverture aurait pu se déplacer horizontalement avec une facilité telle qu'il était



- | | |
|---|---|
| 1. Niveau à débordement; | 6. Règle graduée de contrôle du levage; |
| 2. Central téléphonique de campagne; | 7. Pompe pilote à main à balancier équilibré; |
| 3. Pompes électriques à haute pression; | 8. Passerelle; |
| 4. Tableau de distribution d'huile et de contrôle des pressions aux vérins; | 9. Talons de l'onde de couverture; |
| 5. Tableau de contrôle de déformation et de sécurité; | 10. Tirants; |
| | 11. Retombée de l'onde. |

FIG. 93. — Poste central de manœuvre d'un long pan.

indispensable de la guider et d'empêcher l'amorçage de tout mouvement dans un sens quelconque du plan horizontal. Ce sont les contrefiches et panneaux de contreventement du hangar définitif qui, exécutés avant le levage sur toute leur hauteur, ont servi de guidage à la couverture.

La stabilité pendant le levage était donc identique à celle de la cellule terminée (fig. 29). La couverture était butée et retenue par l'intermédiaire de patins en acier réglables glissant sur des plaques métalliques amovibles fixées provisoirement après les contrefiches (fig. 97).

Même si le mistral avait soufflé avec sa violence maximum, son action sur la couverture isolée aux pignons non vitrés aurait été de beaucoup inférieure à celle s'exerçant sur la construction terminée avec ses façades et ses vitrages, aussi le vent n'a jamais constitué une gêne pendant les opérations de levage.

Dispositions générales.

Chaque long pan comportait un poste central de manœuvre (fig. 93) accroché à la voûte sous une des ondes centrales. À un niveau légèrement inférieur régnait sur toute la profondeur de 65 m une passerelle, suspendue également à la

couverture, pour permettre aux ouvriers d'être toujours à la hauteur de travail la plus favorable pour la mise en place des cales et les manœuvres des vérins (fig. 94).

La liaison fixe des vérins sous la sablière, indépendamment de l'avantage d'un centrage toujours identique des efforts, évitait d'avoir recours à des tuyauteries mobiles pour l'alimentation au cours des positions successives occupées par la couverture. Ainsi le poste de commande avec les responsables de l'opération, la passerelle avec les ouvriers, les dispositifs de manœuvre et de contrôle, tous invariablement fixés à la voûte la suivaient dans son ascension.

Pour savoir tout ce qui se passait sur un long pan malgré la longueur de celui-ci, sans recourir à des appels ou à des ordres verbaux, mal entendus à ces distances et par conséquent mal compris, nous avons rassemblé tous les dispositifs de contrôle et de sécurité, sous les yeux du chef de poste (fig. 95).

Dans notre désir de parer à tout incident, prévisible ou non, nous avions accumulé les précautions. Un certain nombre des dispositifs, que nous avions imaginés et réalisés, furent abandonnés au cours des premiers essais (par exemple : synchronisation des deux longs pans, double contrôle des écrous de sécurité des vérins).



FIG. 94. — Passerelle suspendue.

Dispositifs de manœuvre et de sécurité.

Distribution d'huile sous pression aux vérins (fig. 96).

Dans le décintrement d'un grand arc par vérins placés à la clef, les déplacements à produire sont faibles et ne nécessitent qu'une fraction de la course des vérins. Une telle opération est menée lentement avec examen fréquent des déformations qui assurent la meilleure compensation. Des pompes à main suffisent alors pour l'alimentation des vérins en huile hydraulique sous une pression de 400 kg/cm^2 .

La cadence de levage que nous nous étions fixée et l'obligation d'injecter sensiblement la même quantité d'huile de façon simultanée dans tous les vérins interconnectés nous a fait recourir à des pompes électriques à haute pression afin de disposer d'un débit suffisant. Deux pompes par poste de levage fonctionnaient simultanément. En cas d'incident survenant à l'une d'entre elles le levage pouvait se poursuivre à demi-vitesse. Nous étions ainsi prémunis contre un arrêt complet.

La vitesse de levage était de 1 cm minute lorsque les deux pompes débitaient ensemble. La puissance absorbée par les quatre pompes de deux longs pans

était seulement de 16 cv au total. En cas de panne de courant des groupes normaux de la centrale électrique, un groupe de secours pouvait assurer la fin de l'opération en cours.

Les tuyauteries comprenaient un système d'injection à haute pression et un système de retour à basse pression. Des distributeurs et des vannes d'arrêt permettaient de régler les débits ou d'isoler les circuits au gré du chef de poste.

Un réservoir recueillait toute l'huile lors du rappel des pistons. Ce réservoir pouvait être relié à une pompe à vide; la dépression ainsi créée accélérail la vidange des vérins après chaque poussée. Un compresseur agissant ensuite en

FIG. 95. — Pupitre de commande des dispositifs de manœuvre et de contrôle.

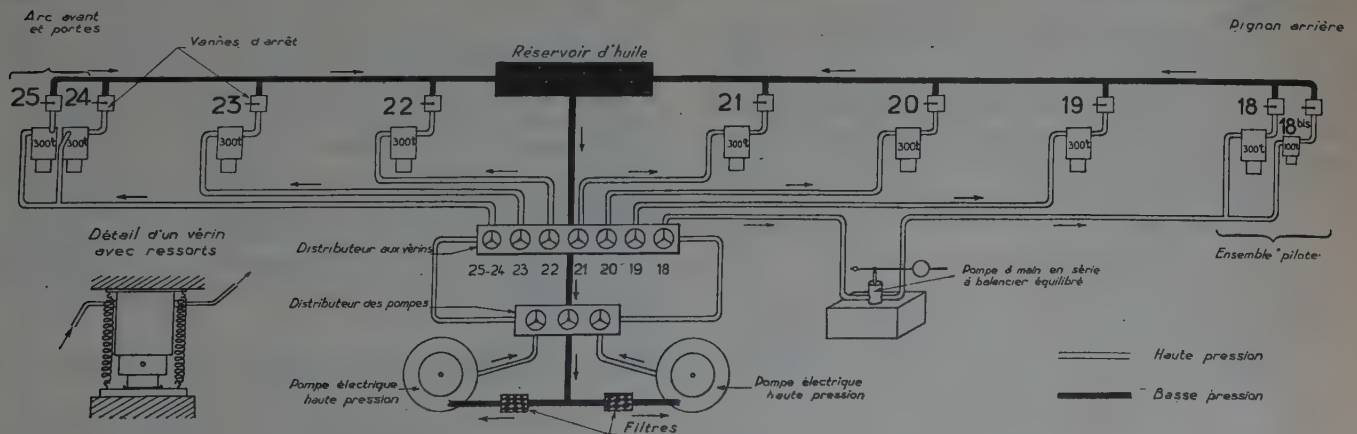
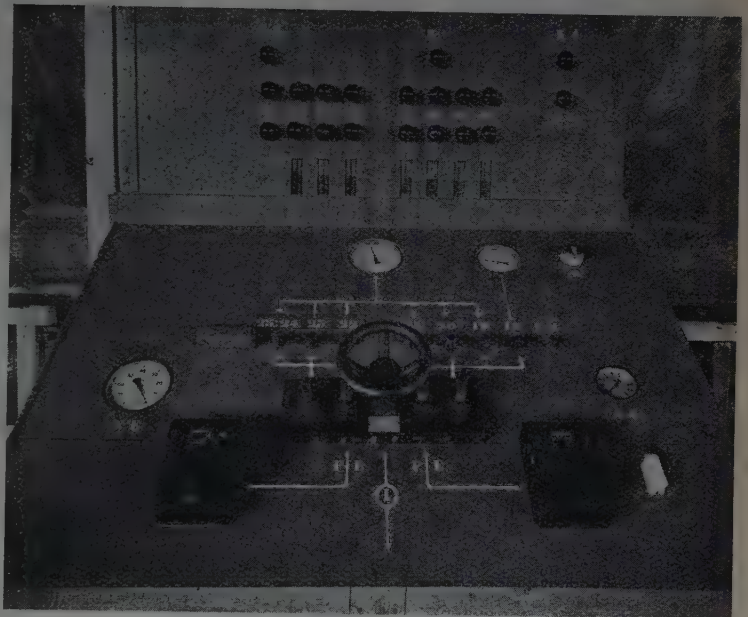


FIG. 96. — Distribution d'huile sous pression aux vérins.

suppression refoulait l'huile à travers des filtres en feutre. Aucune impureté ne parvenait ainsi aux pompes : leur débit n'aurait pu rester régulier si des poussières s'étaient introduites dans les soupapes constituées par des billes.

Sur un pupitre de contrôle étaient réunis tous les manomètres, les distributeurs et les interrupteurs de commande de toute l'alimentation d'huile et d'air comprimé.

Dispositif de contrôle électrique (fig. 97).

Comme il était désirable d'éviter toute descente brusque par suite de la rupture d'une canalisation, nous tenions à contrôler que l'ouvrier chargé du serrage de l'écrou de sécurité ne laissait qu'un faible jeu entre cet écrou et le corps du vérin. Une lampe verte était allumée en permanence à chaque vérin. Disposée sur le même circuit, une autre lampe verte lui correspondait au tableau de contrôle. Dès que le jeu atteignait 5 mm un doigt de contact provoquait l'extinction des deux lampes attirant à la fois l'attention du chef de poste et de l'ouvrier défaillant.

Trois autres lampes vertes attestaient que la surveillance du guidage le long des contrefiches était effective : l'ouvrier responsable pour montrer sa présence devait pendant la montée serrer en permanence une poignée de contact.

Ainsi, pendant la poussée des vérins, moment où les risques étaient les plus grands, toutes les lampes vertes devaient être allumées. Ces lampes servaient aussi au chef de poste, grâce à un signal convenu, à prévenir tout le personnel du commencement d'une nouvelle poussée.

À chacune de ces lampes vertes correspondait une lampe rouge (à chaque vérin et à chaque guidage avec répétition au tableau de contrôle), signal d'alarme dont chacun des ouvriers pouvait commander l'allumage dès qu'il remarquait un incident anormal. Le chef de poste alerté arrêtait alors instantanément la manœuvre.

Signalons encore que les deux chefs de poste de chaque long pan pouvaient communiquer entre eux par téléphone ainsi qu'avec la centrale électrique et les deux postes de guidage arrière.

Dispositif de contrôle centralisé des déformations verticales (fig. 98).

Mais le contrôle essentiel, à notre avis, est celui qui a permis d'avoir toujours reproduite sous les yeux du chef de poste la déformée de la sablière de la couverture.

Des niveaux d'eau ordinaires avec une fiole à chaque poteau et une fiole au poste de contrôle n'auraient pas rempli ce rôle. Les déformations auraient été réduites de moitié. Cette réduction aurait constitué une gêne pour le chef de poste tant pour la visibilité que pour le rétablissement mental de la grandeur exacte des mouvements dans sept fioles en même temps. En outre et surtout sur des distances variables, atteignant jusqu'à 30 m, les variations de température et les fuites auraient bouleversé complètement les indications des niveaux et rendu impossible tout contrôle.

La solution a été trouvée dans l'emploi de cuves à débordement alimentées en eau, sans arrêt, par un robinet. Moyennant cet artifice, le tube en verre correspondant sur le tableau de contrôle indiquait les mouvements verticaux en reproduisant le niveau exact d'un point de la couverture pris au droit de chacun des poteaux.

Cette vision directe des déplacements permettait de limiter à 5 mm les dénivellations entre deux points d'appui successifs par une correction de débit dans les vérins. En fait, et sauf exception, l'interconnexion des vérins, lorsque le débit

était bien réglé, réalisait de façon automatique cette condition. En effet, si un vérin avait tendance à monter plus vite que ses deux voisins, la raideur de la sablière intervenait alors pour transmettre un surcroît de charge à ce vérin. La pression des pompes restant constante, les deux vérins voisins soulagés rattrapèrent une partie de l'écart initial et la déformée restait toujours dans les limites prescrites.

Cette interconnexion des vérins n'était cependant pas sans inconvénient : elle rendait le système instable. Car, si la rigidité de la sablière égalisait les charges sur les vérins, par contre elle était sans influence sur un mouvement de pivotement de l'ensemble du long pan dans le plan vertical autour d'un point quelconque. C'est pourquoi nous avons introduit sur le poteau arrière un vérin-pilote de 100 t (fig. 96). Une pompe à main spéciale permettait de le commander indépendamment des huit vérins de 300 t du même long pan. En fait le pignon arrière était légèrement plus lourd que nous l'avions estimé : le vérin-pilote a pu être relié à son voisin et recevoir sensiblement la même pression que les autres. Ainsi le chef de poste grâce aux distributeurs accélérât ou ralentissait le débit d'huile dans le groupe de vérins du poteau arrière et rétablissait à volonté l'horizontalité de la sablière.

La distance de 100 m entre les deux longs pans permettait de les décaler en hauteur de façon appréciable au cours du levage. Cette faculté autorisait, au cas où des incidents se succédaient sur les deux longs pans, de n'immobiliser que celui en réparation et de ne pas trop ralentir l'ensemble des opérations de levage.

d) Levage.

Phases élémentaires d'une journée de levage (fig. 102).

Le cycle d'une journée courante de levage correspondant à une élévation de 1,06 m de la couverture est schématisé sur la figure 102 qui nous dispense d'une longue description. Dans la matinée les six levées correspondant à l'introduction des cales de 0,1875 m se succédaient. L'après-midi les deux éléments de poteau, en U et prismatique, étaient substitués aux piles de cales. Puis la paroi côté cellule était bétonnée sous vide. Vingt minutes après, le coffrage pouvait être retiré et la prise accélérée était suffisante pour que dès le lendemain un nouveau cycle puisse commencer.

Les cales étaient en béton fretté et pouvaient supporter une pression de 120 kg/cm². Nous avons essayé aussi des cales en azobé. Leur emploi paraît intéressant. Elles pèsent 2,5 fois moins à volume égal que les cales en béton armé correspondantes. Leur résistance à la rupture par compression est de plus de 400 kg/cm². Elles ne se déforment pas et ne s'épaussissent pas.

Après la troisième poussée d'un cycle la reprise de charge s'effectuait sur des cales latérales en béton armé étagées et roulantes (fig. 91, 92 et 99). Deux empilages latéraux, de stabilité précaire, étaient ainsi évités. En outre la manipulation de ces cales était rapide et précise.

Après la sixième poussée les cales étagées étaient retirées et entraînaient dans leur recul un nouvel élément de poteau en U qui venait occuper sa position définitive (fig. 99).

Les cales auxiliaires centrales étaient ensuite extraites en bloc et remplacées par l'élément central prismatique de poteau de 1,06 de hauteur.

Phases d'ensemble du levage d'une couverture (fig. 100).

Dans l'ensemble d'un levage de 19 m, les cycles journaliers ne se succédaient pas sans interruption. Avant tout commencement, les postes de commandement logés dans une retombée avaient été montés avec tous les dispositifs nécessaires.

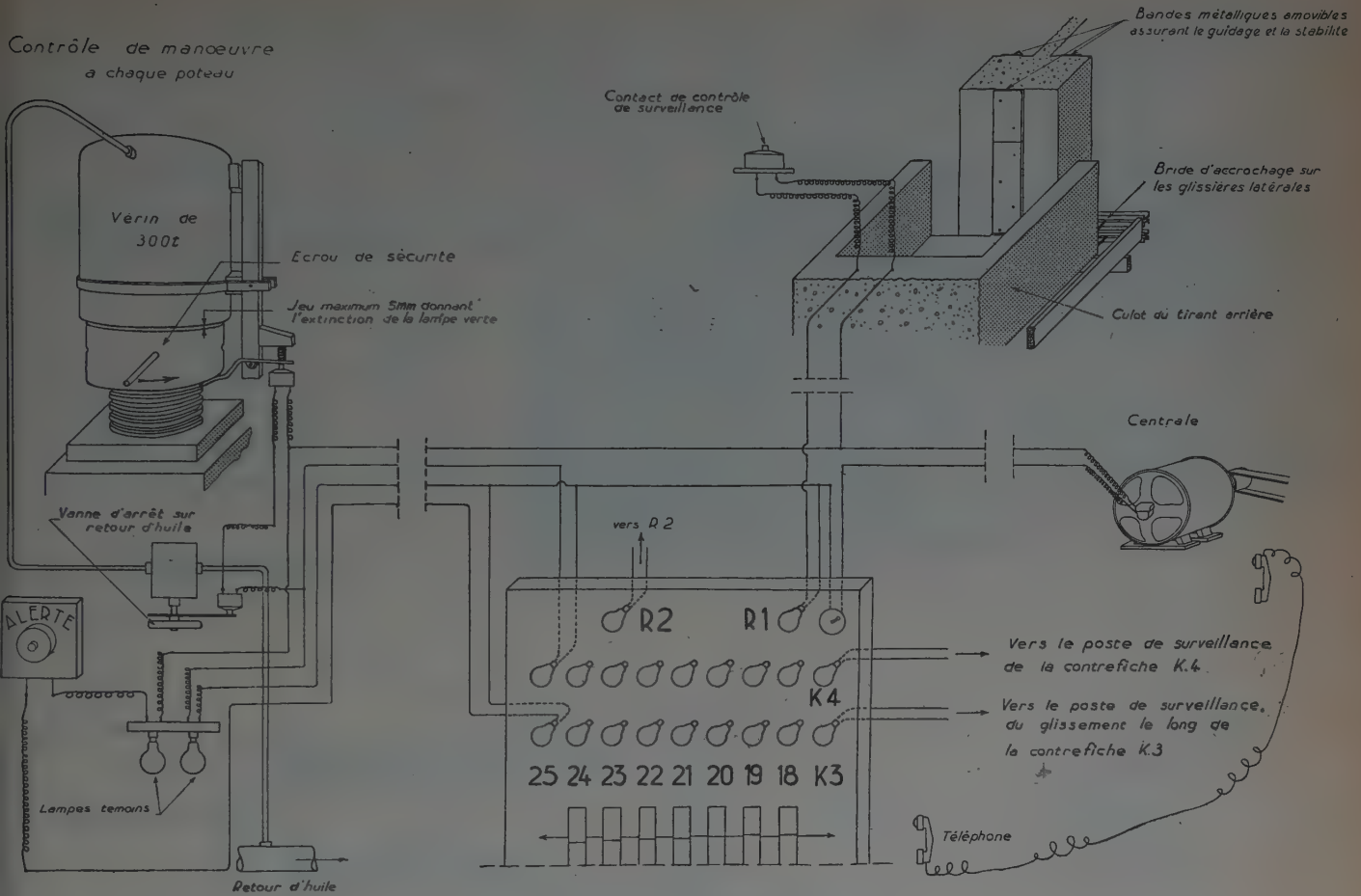


FIG. 97. — Dispositif de contrôle électrique de sécurité.

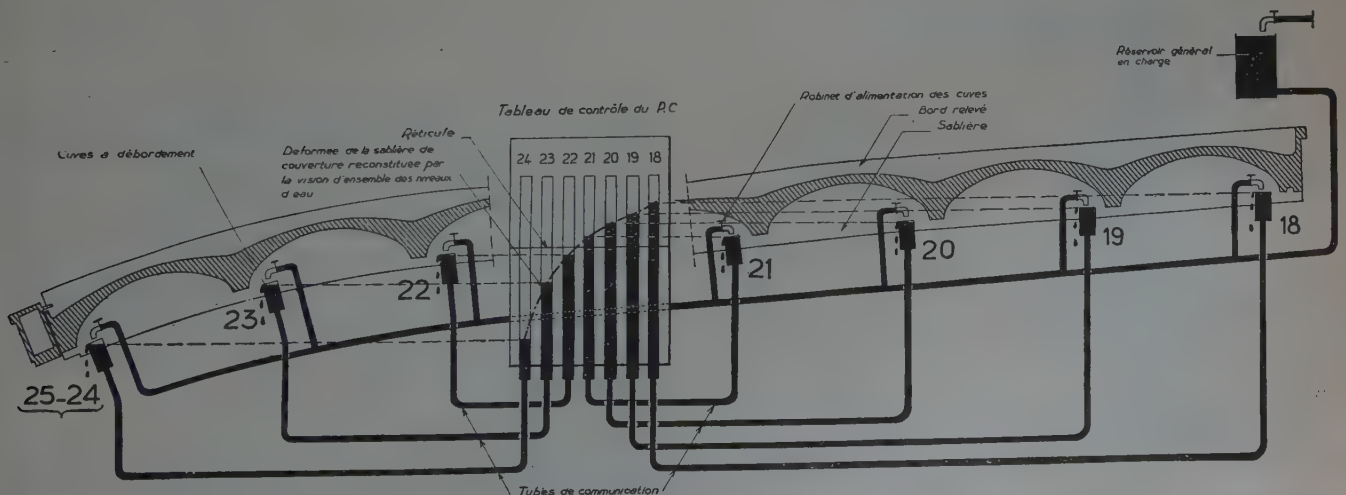


FIG. 98. — Dispositif de contrôle centralisé des déformations verticales (Schéma de principe).

FIG. 99. — Organisation d'un poste élémentaire de levage. Substitution d'un élément de poteau en U aux cales étagées.

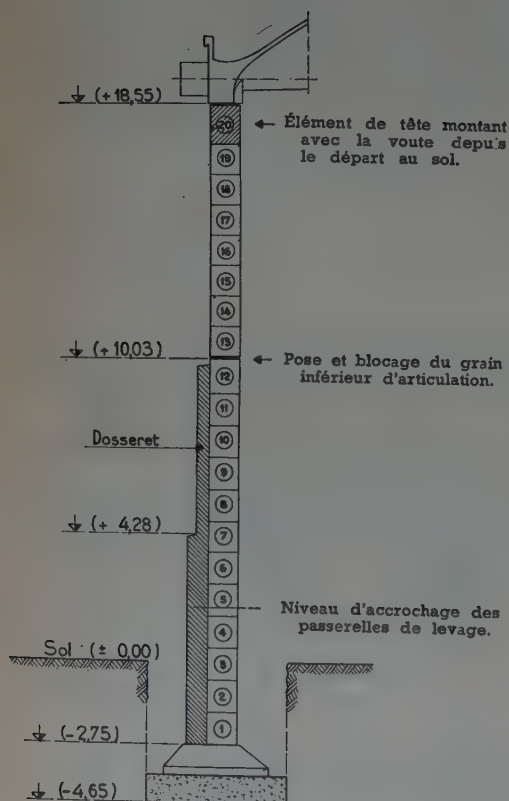
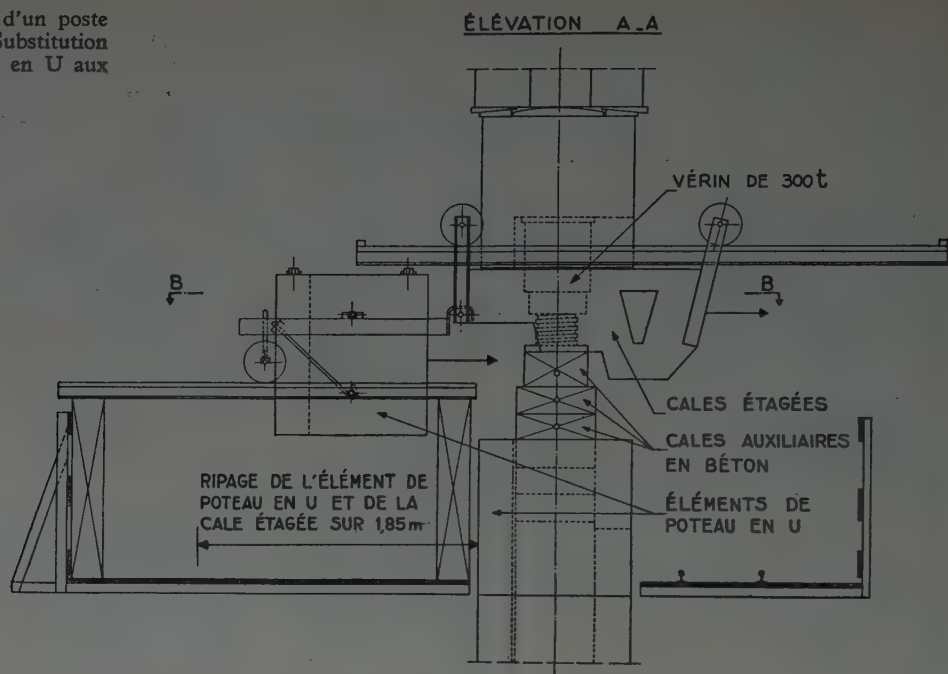


FIG. 100. — Succession des cycles de levage.

Après trois cycles, soit un levage de 3,18 m, la hauteur de la couverture au-dessus du sol devenait suffisante pour le montage et l'accrochage des passerelles au niveau voulu. Cette installation prenait 48 heures. Neuf cycles se succédaient alors et la partie inférieure des poteaux atteignait la cote 10,03 au-dessus du sol (le dessous des sablières étant alors à 12,13). Nouveau cycle avec arrêt de 3 jours nécessité par la pose, le réglage et le calage provisoire du treizième bloc qui constituait l'articulation sphérique inférieure du tronçon de poteau formant balancier (p. 847). Cet arrêt était mis à profit pour bétonner le dossieret (fig. 101) accolé qui supporte la toiture de l'appentis afin de rendre plus rigide la partie inférieure du poteau avant de poursuivre le levage. Six derniers cycles amenaient alors la couverture à sa cote définitive.

Mais il fallait compter avec les incidents qui pouvaient perturber cette suite d'opérations. C'est pourquoi, au bureau d'études, nous avions prévu 30 jours ouvrables en moyenne par cellule.

Au chantier (fig. 103 à 107) il a fallu 38 jours pour la pre-

mière cellule, du 4 juin 1951 au 12 juillet 1951, avec des heures supplémentaires presque chaque jour et du travail pour quelques équipes certains dimanches. Les huit premiers jours ont été passé à des tâtonnements et des mises au point inévitables, car aucune répétition, aucun essai préalable ne pouvaient être tentés. Une fois le levage commencé il fallait aller jusqu'au bout et amener à tout prix la couverture à son emplacement définitif sans possibilité de retour en arrière.

Pour la deuxième cellule il aura suffi de 23 jours ouvrables normaux, du 3 septembre au 29 septembre 1951. Le temps minimum, a été atteint et, eussions-nous eu une troisième cellule à livrer, qu'avec les dispositions telles qu'elles étaient arrêtées et que nous ne pouvions plus modifier, nous n'aurions pas pu faire mieux. Il n'en serait d'ailleurs plus de même si l'occasion nous était offerte de refaire le même levage. En profitant de l'expérience acquise et en aménageant le mode opératoire nous pensons que nous le réussirions désormais en une quinzaine de jours par cellule.



FIG. 101. — Exécution des dossierets.

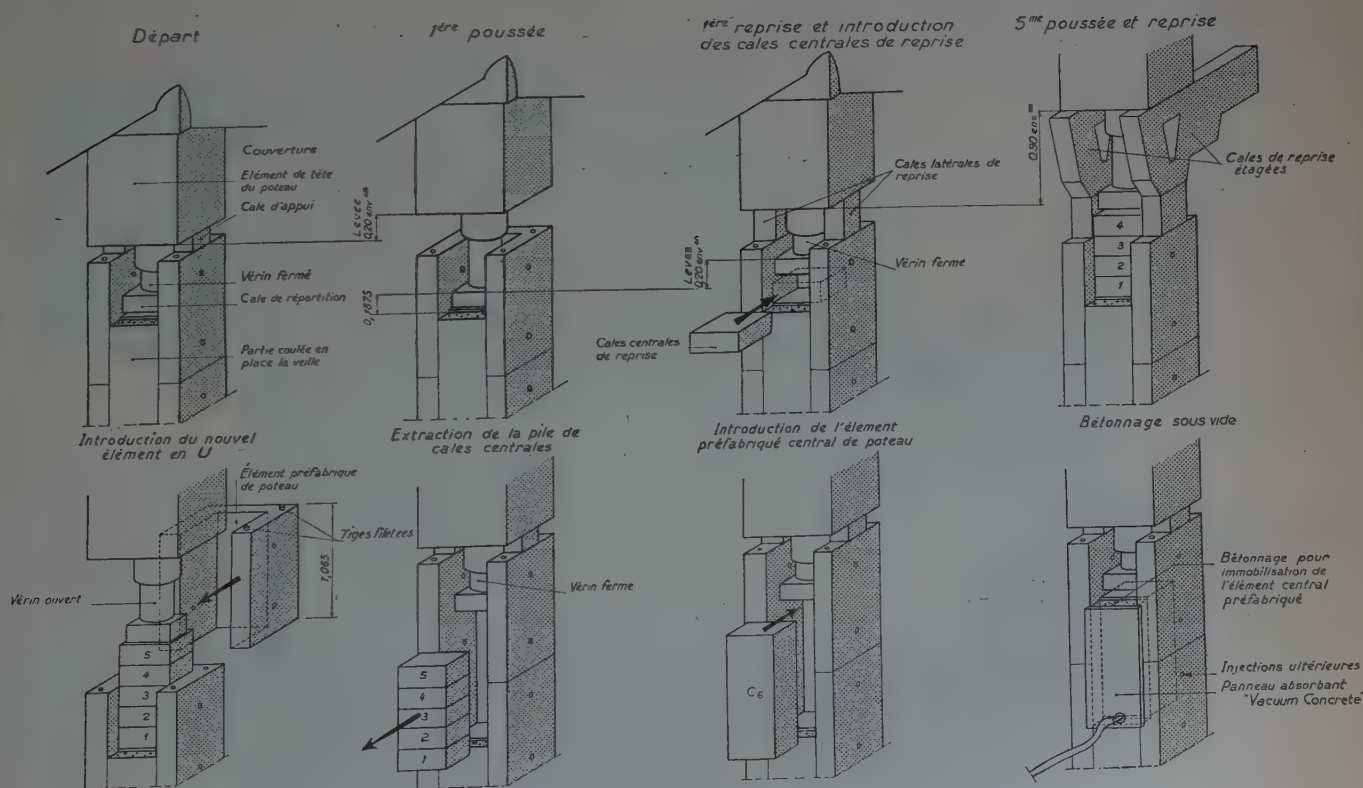
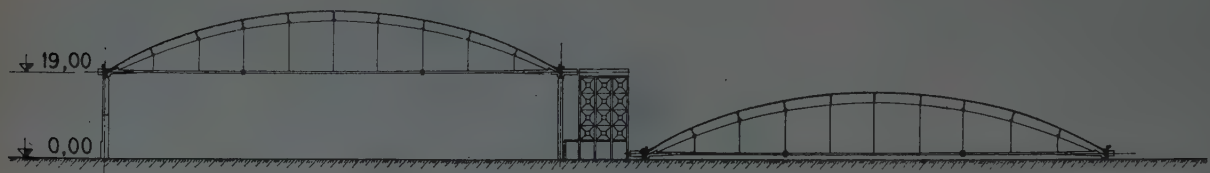


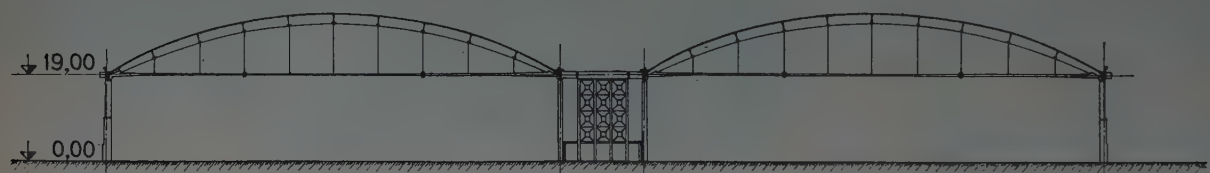
FIG. 102. — Phases élémentaires d'une journée courante de levage de la couverture.



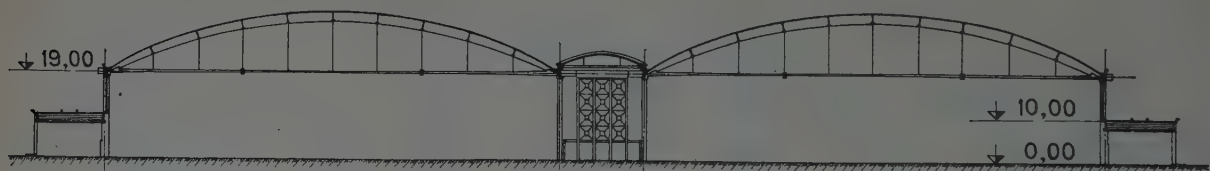
4 juin 1951. — Couvertures des deux cellules terminées au sol.



Du 12 juillet au 3 septembre 1951. — Cellule ouest levée et cellule est prête pour le levage.



29 septembre 1951. — Les couvertures des deux cellules sont levées au niveau définitif.



31 mai 1952. — L'ossature du hangar et ses appareils sont terminés.

FIG. 103. — Schéma des phases principales de levage.

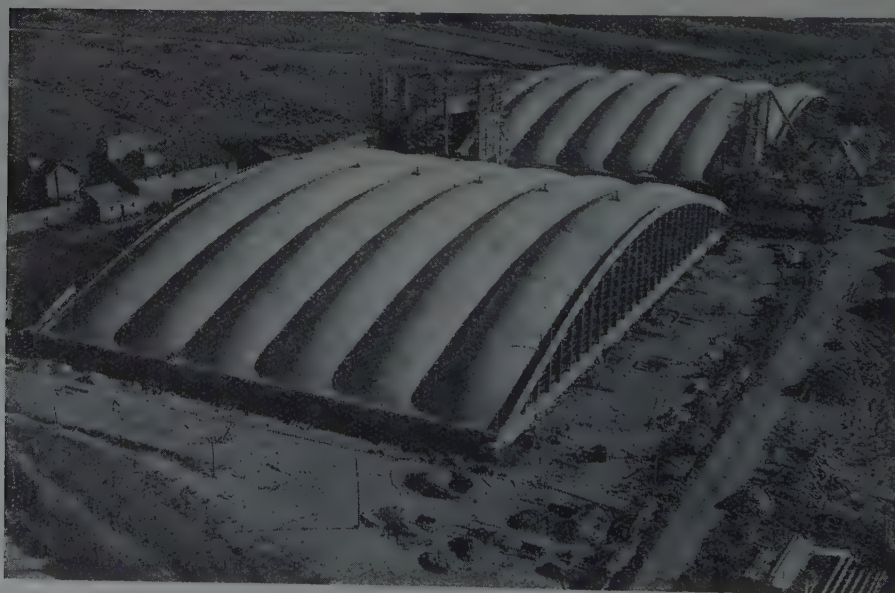


FIG. 104. — Couvertures achevées au sol prêtes pour le levage. 4 juin 1951.

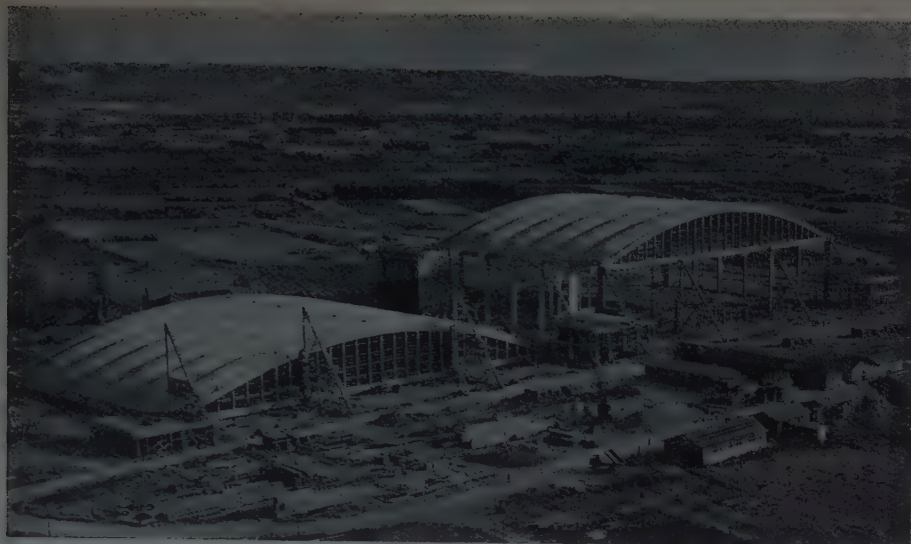


FIG. 105. — Première couverture levée.
Deuxième couverture au sol prête au levage. 3 septembre 1951.



FIG. 106. — Deux couvertures levées. 28 septembre 1951.



FIG. 107. — Élévation du hangar en cours d'achèvement.

B. — ENTRE-CELLULES ET APPENTIS

a) Entre-cellules.

La couverture de 18,70 m de portée entre axes des appuis (constitués par les sablières du long pan intermédiaire de chacune des deux cellules) et 60 m environ de longueur ne pouvait être réalisée qu'après le levage de la couverture de la deuxième cellule. Cette attente aurait pu être un handicap pour le procédé par levage si nous n'en avions tiré par ailleurs un avantage substantiel quant au mode de construction de cette voûte d'entre-cellules.

Initialement prévue exécutée au moyen d'un échafaudage roulant au sol, la voûte aurait dû être réalisée par travées de 9,80 m afin de donner à l'échafaudage une longueur en rapport avec sa hauteur de 19 m. Les tirants rectilignes n'auraient pu être mis en tension avant enrobage sans l'emploi d'un système de culot difficile à réaliser ou onéreux, ce qui excluait l'emploi de l'acier dur.

L'examen de la situation de la construction après le levage permettait de remarquer les deux données suivantes dont on pouvait tirer parti :

- Les sablières d'appui étaient continues latéralement sur la longueur de la voûte à réaliser.

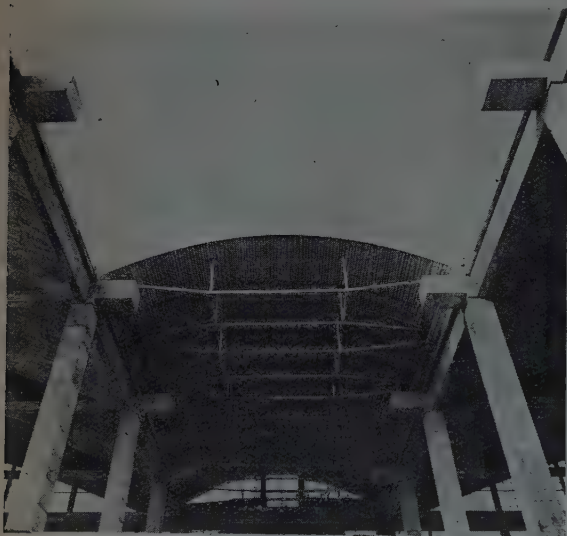
- La poutraison du garage des portes et la terrasse de la rotonde réalisaient à une extrémité une plateforme de travail exactement à la hauteur désirable.

Le procédé adopté en fonction de ces circonstances particulières consiste essentiellement dans la préfabrication de tronçons de voûte de 4,90 m de longueur sur un échafaudage fixe aménagé en avant sur la poutraison du garage des portes (fig. 109) et leur ripage jusqu'à leur position définitive en utilisant les sablières des grandes voûtes comme chemins de roulement (fig. 110).

Ainsi la surface de coffrage était réduite de moitié et permettait douze emplois. L'échafaudage, fixe cette fois, était limité au volume compris entre l'intrados du coffrage et le plan horizontal des tirants, c'est-à-dire pratiquement nul. La plateforme de travail d'une longueur de 12 m environ offrait

la possibilité de recevoir deux tronçons (fig. 109), ce qui permit de réaliser les éléments de voûte en deux phases. La première phase comportait l'exécution de la voûte proprement dite et son décintrement sur tirants nus (fig. 111). La deuxième, après décoffrage et ripage de 5 m environ, consistait dans l'enrobage des tirants et dans leur suspension à la voûte au moyen de poinçons préfabriqués. Cette faculté de pouvoir bétonner les tirants sur une aire spacieuse, pratiquement gratuite et à poste fixe, rendit aisée et rentable l'utilisation d'acier dur pour les tirants avec mise en tension avant enrobage par rapprochement symétrique des deux tirants d'un élément sans dispositif d'ancrage spécial (fig. 112). Étant donné la très grande déformation à produire (60 cm) nous avons en effet dû abandonner la disposition classique qui consiste à rapprocher (ou écarter) les nappes d'un même tirant.

Ainsi terminés en deuxième position, les éléments de voûte étaient ensuite roulés sur des galets jusqu'à leur position définitive (fig. 110). Ils s'em-

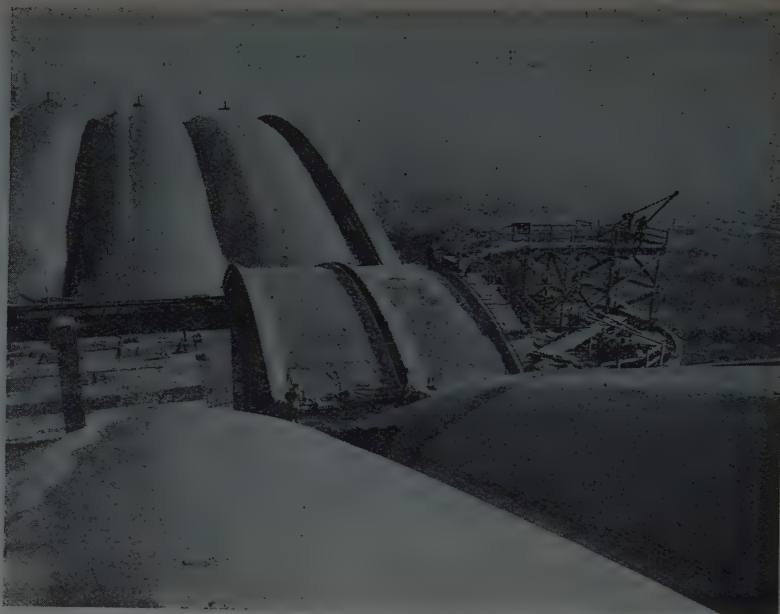


boîtent les uns dans les autres grâce à la forme spéciale des nervures formant couvre-joint.

Un dispositif comportant quatre vérins de 15 t permettait de soulever la voûte au moment du décintrement et d'introduire les galets de roulement (fig. 111). Après ripage ces vérins assuraient, par une manœuvre inverse la pose du tronçon, sur ses blocs d'appui définitifs.

Grâce à un artifice de construction consistant dans une légère déviation verticale des aciers en tension avant bétonnage au moyen de liaisons provisoires à l'échafaudage, la section des tirants pu être réduite à $0,10 \times 0,15$ pour une portée entre suspentes de 6 m environ. Très légers et disposés suivant une série de trapèzes réguliers, l'ensemble des tirants ainsi dédoublés constitue un réseau décoratif (fig. 108).

Aucune fissure n'a pu être observée dans cette voûte de plus de 60 m ne comportant aucune reprise de bétonnage et des variations d'épaisseur très progressives au droit des sablières et des nervures.



COUVERTURE DE L'ENTRE-CELLULES

FIG. 109. — Poste de préfabrication des éléments de voûte. L'élément extrême côté rotonde est en première position d'exécution (pour coffrage, ferrailage et bétonnage des hourdis de voûte).

L'élément côté hangar est en deuxième position (pour enrobage des tirants).

← FIG. 108. — Réseau des tirants.

FIG. 110. — Élément de voûte en cours de ripage vers sa position définitive.



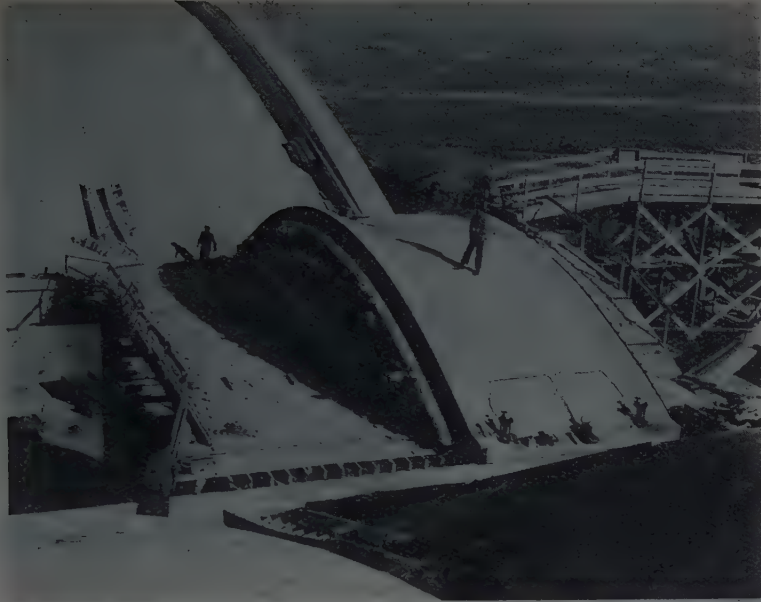
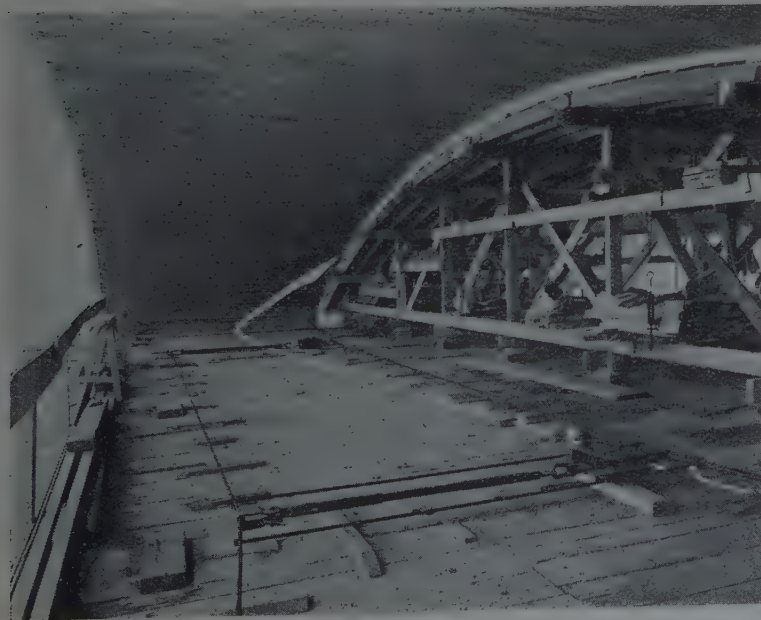


FIG. 111. — Élément de voûte d'entre-cellules décintré prêt pour ripage en deuxième position (fig. 109).

Au premier plan vérins avec pompe permettant de soulever l'élément pour introduire les galets de roulement.

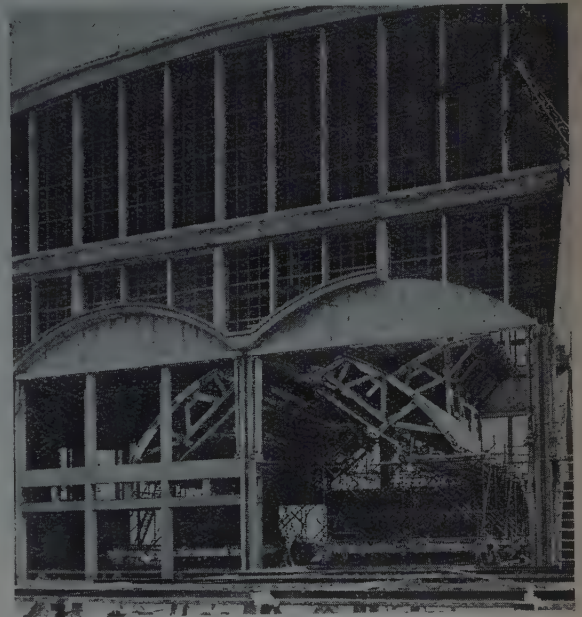
FIG. 113. — Couverture des appentis. Échafaudages basculants.

FIG. 112. — Élément de voûte d'entre-cellules en deuxième position (fig. 109). Dispositif de mise en tension avec dynamomètres de contrôle.



b) Appentis.

De la modification d'orientation des génératrices des voûtes mentionnée p. 834 devait résulter une conception toute différente de la couverture. Apparemment sans changement, ces voûtes ne sont cependant plus des voûtes du point de vue calcul mais des poutres droites de section spéciale. Le profil ouvert de ces « berceaux » est alors justifiable de la même méthode de calcul que les ondes des grandes voûtes mais cette fois avec $\rho = \infty$ et $N = 0$. La portée de 15,70 m détermine un moment de flexion important mais facilement absorbé par la grande inertie de cette poutre de 2,00 m de hauteur totale. Les efforts secondaires, nés de la répartition de l'effort tranchant sont repris par deux nervures raidisseuses intermédiaires et les tympans pleins formant les deux pignons des voûtes.



Le mode d'exécution devait être également reconsidéré en fonction de la nouvelle conception. L'échafaudage primitivement conçu pour rouler suivant la direction des génératrices et qui aurait filé sur 60 m sans aucune difficulté devait désormais rouler suivant les directrices. Nous eûmes donc recours à un système de coffrages basculants analogues à ceux utilisés pour les ondes afin d'échapper les sablières pendant la translation de l'échafaudage. Ce mode d'échafaudage se révélait d'autant plus intéressant qu'il permettait la réutilisation des fermes des échafaudages des ondes et de bénéficier ainsi d'équipes entraînées à leur manœuvre et de réemplois supplémentaires (fig. 113).

Notons une particularité dans le choix des sections de reprise des voûtes. Au lieu d'exécuter une voûte entière avec une amorce seulement de la suivante comme ce fut le cas pour les ondes, l'amorce était allongée jusqu'à constituer une demi-voûte. La reprise se trouve reportée suivant la génératrice de clé de la voûte, la ligne de partage des eaux de

ruissellement sur la couverture dans la zone du voile subissant des compressions dans deux directions. La position de la reprise est donc favorable à l'étanchéité. Chacun des éléments successifs constituait un V à branches curvilignes. Cette disposition, autre avantage, permettait un décentrement par tirants provisoires supé-

FIG. 114. — Couverture des appentis.
Coffrage et ferrailage.
Tirants provisoires. Tympan préfabriqués.

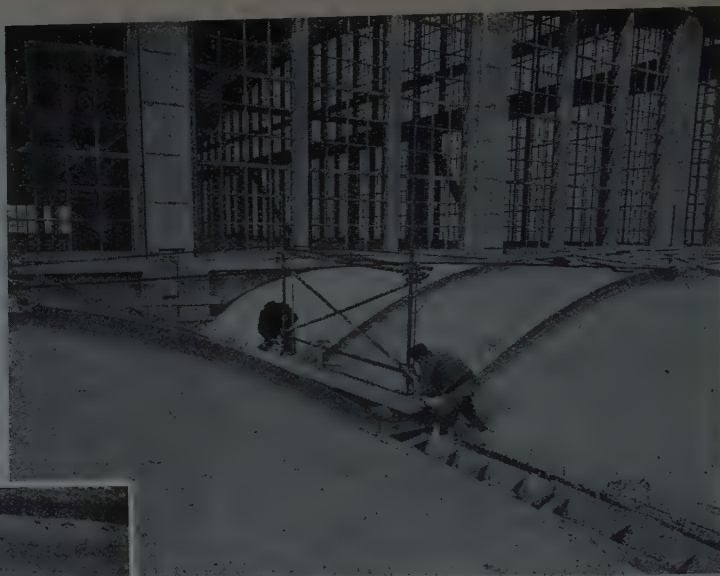
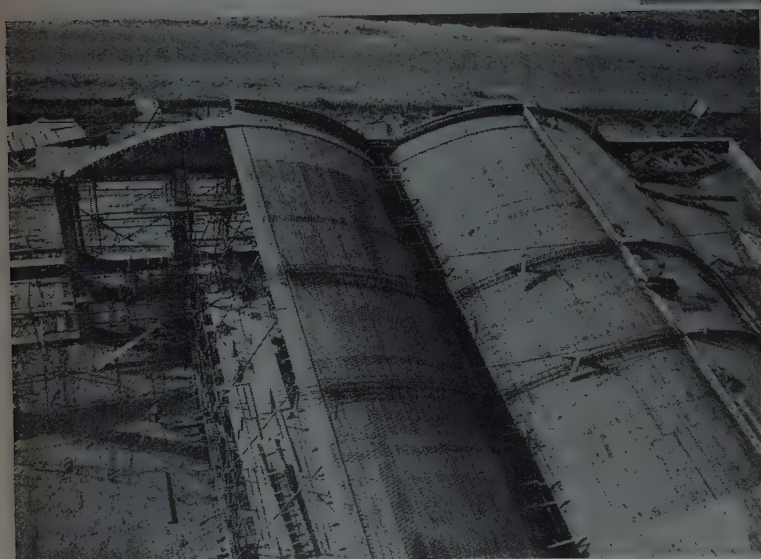


FIG. 115. — Couverture des appentis.
Mise en tension des tirants provisoires.

rieurs, tangents à la voûte, faciles à mettre en tension (fig. 115) et ne gênant nullement le décoffrage et le roulage des échafaudages.

Les tympan pleins des pignons furent préfabriqués et les armatures du voile mince constituées par du métal déployé (fig. 114).

C. — PROGRAMME D'EXÉCUTION

Le programme d'exécution de l'ensemble des deux cellules était prévu en 22 mois. En fait plusieurs circonstances ont quelque peu bouleversé son déroulement normal.

Notamment en juillet 1949 lorsque les installations de chantier commencèrent, les terrains sur lesquels devaient être édifiés les hangars n'étaient pas expropriés. Ce n'est qu'au début de l'année 1950 qu'il fut possible d'attaquer les terrassements. Mais une période particulièrement pluvieuse retarda alors l'exécution des travaux.

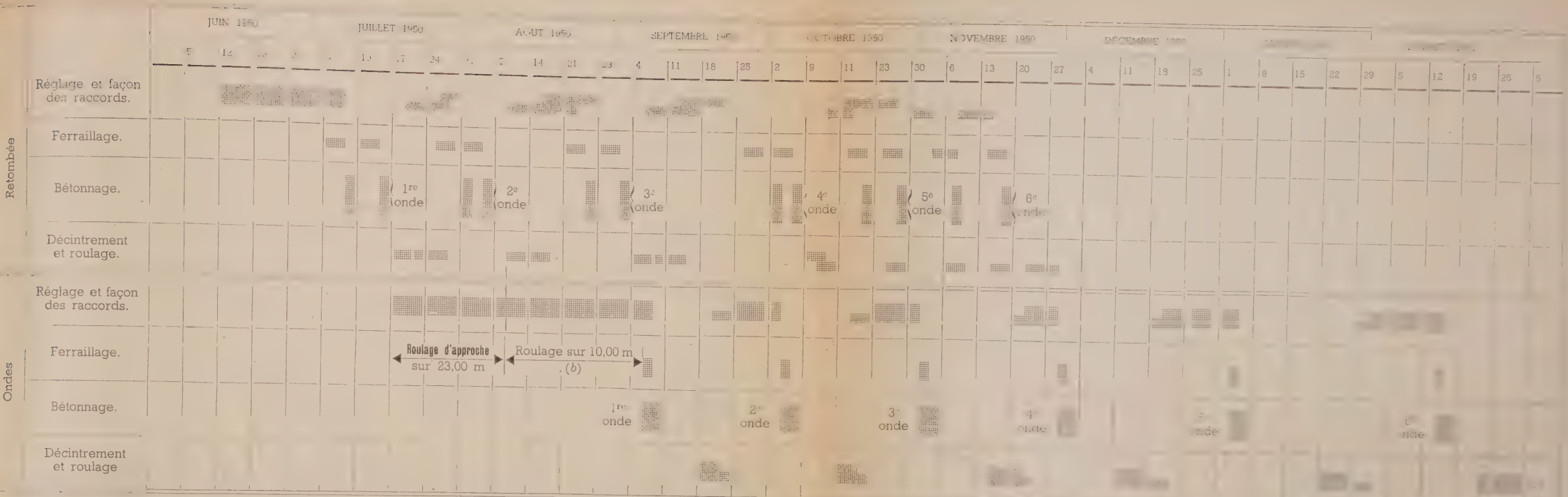
Pour ne pas perdre trop de temps pendant les expropriations, les échafaudages ont été montés à 24 m en arrière de leur première position d'utilisation (fig. 44, 52 et 64), puis amenés dans le prolongement des premiers tronçons de retombée déjà exécutés pour l'onde arrière le 18 août 1950. Ce roulage a constitué une opération supplémentaire non

prévue. De même lorsque s'achevaient les levages nous n'étions pas en possession du marché d'exécution des appentis. Il en est résulté encore une période de mauvaise cadence du chantier.

Afin de refléter le planing exact des travaux lorsqu'ils pouvaient être conduits comme prévu, nous éliminerons toutes ces périodes imprécises d'attente. Nous nous limiterons au programme réel d'exécution des couvertures des différentes parties de la construction. Les graphiques d'avancement de la page 883, combinés avec les schémas des figures 81 et 103, ainsi qu'avec les diverses photos qui illustrent ces schémas se suffisent à eux-mêmes sans qu'il soit besoin de les commenter. La hauteur de chaque bande du graphique est sensiblement proportionnelle au nombre d'ouvriers qui était utilisé pour chaque opération élémentaire (coffrage, ferrillage, bétonnage, etc.).

CELLULE OUEST (a)

Surface couverte : 6 400 m².



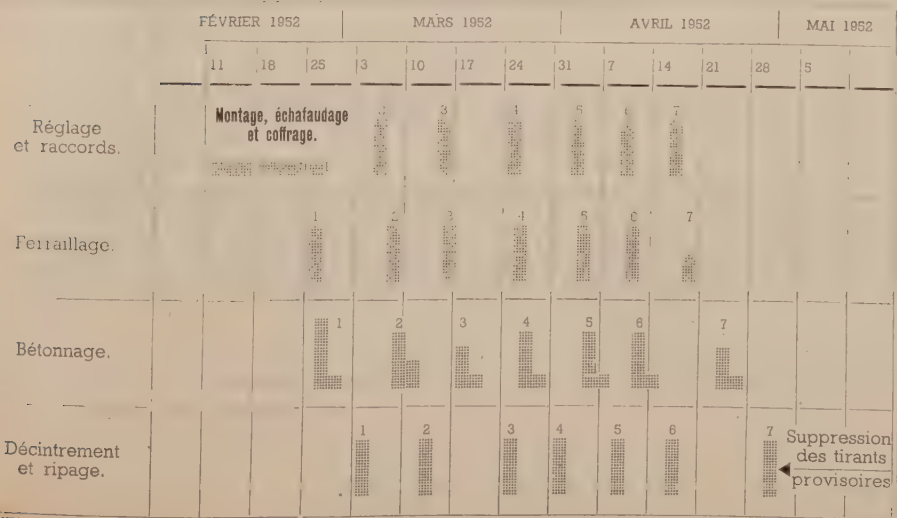
(a) Le programme réalisé pour la cellule Est est déphasé de 15 jours par rapport à celui de la cellule Ouest;

(b) Le travail comprend la mise en place des tympans préfabriqués et l'exécution des raccords;

(c) Transformation des échafaudages des voûtes pour l'exécution de l'arc avant.

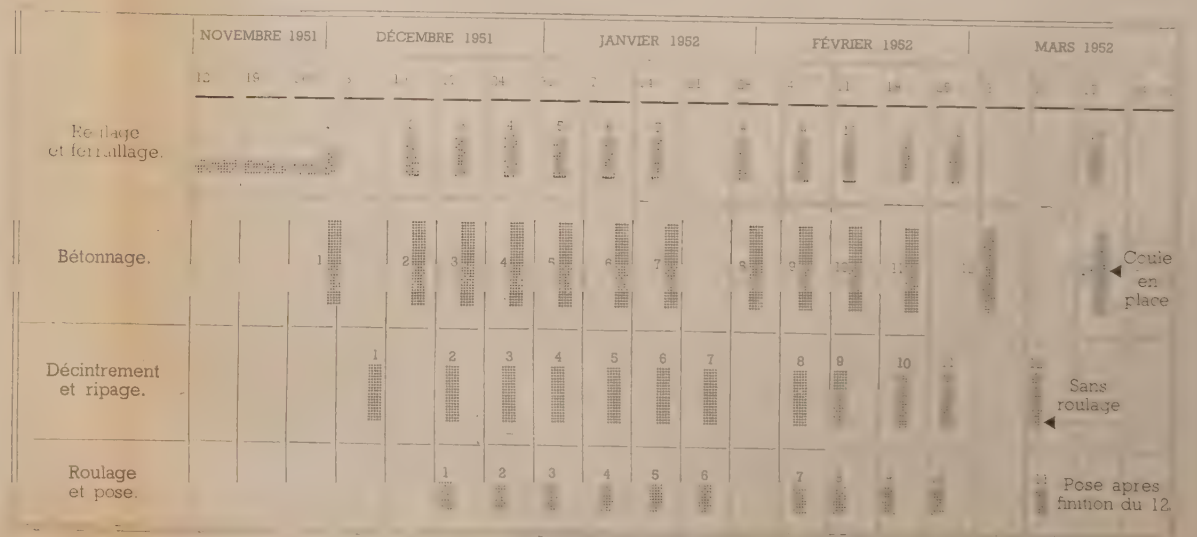
APPENTIS LATÉRAUX EST

Surface couverte : 1 080 m².



VOÛTE DE L'ENTRE-CELLULES

Surface couverte : 1 170 m².



CONCLUSIONS

La construction achevée, tout paraît simple. C'est pourquoi dans les pages précédentes nous avons tenté de reconstituer le long effort qui a permis cet aboutissement : genèse de la conception et hésitations sur le meilleur parti à adopter, choix d'un mode de calcul approprié clair et sûr, études poussées avec mise au point minutieuse du levage, fidélité du chantier dans l'exécution, le tout appuyé sur l'expérience cinquantenaire d'une entreprise qui a compté parmi les pionniers du béton armé.

Ce retour sur le passé et le hasard d'une lecture nous a remis sous les yeux les pages du Cours de Béton Armé préparé en 1910 par Rabut sur l'étude des projets et les calculs de résistance. Tous les Ingénieurs débutants devraient les avoir lues et méditées. Certains passages s'ajustent tellement aux idées que nous avons voulu illustrer dans cet article que nous ne pouvons résister au désir de les citer :

« Dans l'élaboration d'un projet on est souvent porté à croire que les calculs sont l'instrument d'investigation principal. C'est là une tendance fréquente et d'ailleurs explicable chez les jeunes ingénieurs, beaucoup d'entre eux mettraient volontiers l'ouvrage en équation avec les dimensions principales comme inconnues à déterminer par les conditions de stabilité appliquées strictement. Ce n'est que peu à peu que, l'expérience aidant, on s'aperçoit que les calculs ne sont qu'un outil permettant de préciser et de mettre au point la conception de l'Ingénieur.

« Cette mise au point est le seul rôle du calcul et c'est alors seulement qu'il doit intervenir. Il ne doit servir qu'à donner une approximation plus avancée aux dimensions choisies d'inspiration que la documentation, la critique, l'induction et l'expérience ont suggérées à l'Ingénieur.

Quels enseignements pouvons-nous tirer de la réalisation des hangars de Marignane et quelles sont les raisons de la réussite ?

Tout d'abord nous retiendrons les avantages de la méthode de calcul utilisée pour les voiles minces. Elle s'est révélée correcte même pour un ouvrage exceptionnel : l'approximation sur la valeur des forces et des contraintes était suffisante. Nous l'avions remarqué sur les modèles réduits (Onde p. 832 et Shed p. 833). En particulier la mesure de l'allongement (ou du raccourcissement) de la fibre extrême inférieure des tympans raidisseurs des ondes avait montré que le fonctionnement du système était bien celui que nous imaginions.

De même dans la construction définitive les résultats du calcul concordaient sensiblement avec les forces et déformations contrôlées en œuvre. Ainsi au cours du décentrement des voûtes autoportantes en berceau qui couvrent les appentis (p. 881) la valeur mesurée dans les tirants métalliques provisoires était de 4 250 kg pour une valeur calculée de 4 370 kg (la poussée d'une voûte ordinaire non en berceau, serait de 6 750 kg). Ce résultat confirme la validité des hypothèses et des procédés que nous avons indiqués page 851 pour le calcul des efforts secondaires dans la voile.

Indépendamment de leur exactitude dans certaines conditions, ces méthodes simples facilitent la recherche des formes et dispositions les plus favorables. Le contrôle rapide permet de multiplier les essais. Tandis que par l'emploi d'équations différentielles de développements en série, d'intégrations, l'Ingénieur absorbé par cette tâche matérielle, d'une part ne voit pas l'influence des divers paramètres et ne sait comment les faire varier pour aboutir au meilleur résultat, d'autre part

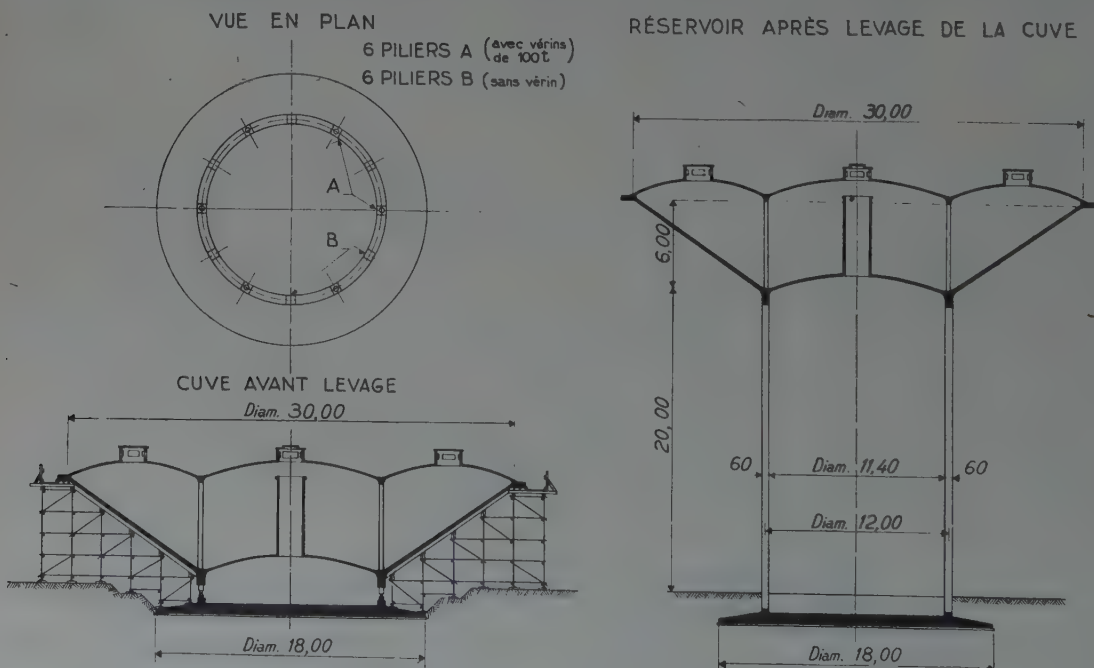


FIG. 116. — Levage du réservoir de Cocody à Abidjan (2 000 m³).

il est vite rebuté par la répétition de calculs fastidieux et délicats. Il a tendance à se fixer sur une forme géométrique facile à traduire mathématiquement, ce qui n'est pas une solution « constructive ».

Un autre facteur favorable, dû aux circonstances que nous avons énumérées au début de l'article, a été le délai de huit années entre le concours initial et la construction. Nous avons pu examiner le problème plusieurs fois sous tous les aspects et l'approfondir pour aboutir finalement à un compromis heureux entre les divers facteurs en présence. Le levage à lui seul a été étudié à trois reprises et amélioré à chaque nouvel examen.

Il est très rare, de pouvoir disposer dans l'Entreprise d'un temps suffisant pour l'étude d'un projet avant l'exécution et c'est là un fait regrettable. Le Maître de l'Œuvre est en général pressé. Le délai accordé est toujours trop court pour une étude soignée. Cette hâte conduit souvent à des modifications pendant la réalisation des travaux, modifications néfastes à tous égards. Des améliorations de conception et d'exécution ne peuvent alors s'effectuer qu'à la faveur de projets et d'exécutions successives d'un même type de construction.

La chance que nous avons eue à Marignane a ainsi été mise à profit pour tenter une expérience audacieuse certes, mais d'une audace raisonnée : aucun détail n'avait été négligé. Si l'on songe à la difficulté du démarrage du levage pour un tel ensemble, sans possibilité de procéder à des essais même partiels, on pourra estimer que la réussite finale est due à une remarquable préparation au bureau d'études, toutes les phases de l'opération et la durée de chacune d'elles ayant été prévues d'avance, servie par une exécution fidèle et impeccable au chantier dans un climat de totale et confiante collaboration entre les projecteurs et les exécutants à tous les échelons de la hiérarchie.

Cette « expérience » ne restera d'ailleurs pas à l'état d'exemple unique. Récemment pour un réservoir de 2 000 m³ à construire à Abidjan le problème se posait comme à Marignane : la majeure partie d'un béton armé délicat était à exécuter à plus de 20 m de hauteur. Pour éviter un double coffrage onéreux nous avons remplacé la cuve cylindrique par une cuve tronconique. Cette cuve en cours d'exécution au sol, sera levée à l'aide de 6 vérins de 100 t (fig. 116).

Dans de nombreux cas, les avantages que nous allons énumérer compensent en effet largement les risques de l'opération :

- La réalisation au sol est beaucoup plus sûre et plus précise. Cet avantage est primordial pour des formes compliquées où l'on désire tirer la quintessence de la matière.
- Les échafaudages sont très réduits et les inconvénients de vents violents considérablement atténués.
- L'utilisation d'engins de chantier courants, très mobiles, permet à faible hauteur la mise en place rapide d'éléments lourds.
- La surveillance du travail est facile et efficace.
- Le rendement de la main d'œuvre est augmenté.

Tous ces facteurs se traduisent par :

- Une amélioration de la qualité ;
- Un abaissement du prix de revient.

Enfin, la proximité du sol assurant une sécurité complète permet d'envisager les types de construction les plus hardis, puisqu'il devient possible de les essayer à terre avec le minimum de risques. Aussi, et ce sera notre conclusion, nous pensons que ce mode de construction pourra être générateur de progrès.



FIG. 117. — Vue générale.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction.		Pages.	Pages
a) Situation.....	822	b) Historique.....	823
PREMIÈRE PARTIE			
Conception et caractéristiques du projet.....	824	B. Description et fonction des éléments de l'ossature.....	836
I. Choix de la solution.....	824	1° Couverture.....	836
A. Conditions imposées.....	824	2° Façade avant côté grandes portes.....	845
B. Conception technique du projet.....	824	3° Façade arrière.....	846
1° Avant-projets et précédents.....	824	4° Façades latérales et poteaux.....	846
2° Principe du système de couverture.....	826	5° Entre-cellules et garage des portes.....	846
3° Choix des dispositions de la couverture.....	826	6° Appentis.....	848
a) Partie courante de l'onde. Talons et tympans.....	827	7° Fondations et divers.....	848
b) Retombées.....	827	a) Fondations.....	848
c) Qualité des matériaux. Tirants.....	829	b) Étanchéité. Évacuation des eaux.....	848
C. Vérification de la validité de la conception du système.....	829	c) Dallages.....	848
a) Onde d'essai.....	829	d) Surfaces de béton.....	848
b) Résultats et conclusions.....	832	C. Calculs.....	849
II. Caractéristiques de l'ouvrage.....	834	1° Bases des calculs.....	849
A. Dispositions générales.....	834	a) Surcharges et actions diverses.....	849
a) Architecture.....	834	b) Contraintes admises.....	849
b) Stabilité générale.....	834	2° Onde.....	849
Stabilité sous les effets du vent.....	834	a) Efforts principaux.....	849
Variations linéaires.....	836	b) Efforts dus au profil ouvert de la section.....	850
		c) Retombées.....	853
		3° Tirants.....	853
		a) Tirants intermédiaires.....	853
		b) Tirant arrière.....	853
		4° Articulations en béton armé.....	853
		D. Comparaisons.....	854
DEUXIÈME PARTIE			
Exécution des travaux.....	855	2° Levage.....	867
I. Moyens matériels d'exécution.....	855	a) Précédents.....	867
A. Installations de chantier.....	855	b) Problème posé et étude préalable.....	867
B. Matériel utilisé.....	857	c) Description des moyens et du matériel.....	869
C. Matériaux.....	857	Constitution des poteaux.....	869
II. Phases et procédés d'exécution.....	859	Guidage de la couverture.....	871
A. Couverture des cellules de 100 × 60 m.....	859	Dispositions générales.....	872
1° Exécution au sol.....	859	Dispositifs de manœuvre et de sécurité.....	873
a) Nivellement et fouilles.....	859	Distribution d'huile.....	873
b) Exécution des retombées.....	860	Contrôle électrique.....	874
c) Exécution de la partie courante des ondes.....	862	Déformations verticales.....	874
d) Préfabrication.....	864	d) Levage.....	874
e) Phases d'exécution au sol.....	866	B. Entre-cellules et appentis.....	879
		C. Programme d'exécution.....	882
		Conclusion.....	884

Photos aériennes et terrestres, RAY-DELVERT, Agen, Villeneuve-sur-Lot (L.-et-G.).

SEPTEMBRE 1952

Cinquième Année, N° 57.

Série : **ÉQUIPEMENT TECHNIQUE (XXVIII).**

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 27 MAI 1952

SOUS LA PRÉSIDENTENCE DE **M. A. MISSENARD.**

LE CHAUFFAGE PAR RAYONNEMENT

L'Expérience américaine.

Par **T. NAPIER-ADLAM,**
Vice-Président de la SARCO Mfg Corp.

La Technique allemande.

Par **A. KOLLMAR,**
Directeur du Bureau de Chauffage et des Machines au Service d'Architecture du Sénat de Berlin.

La Technique italienne.

Par **A. GINI,**
Docteur-Ingénieur.

La Technique française.

Par **R. CADIERGUES,**
Directeur du Comité Scientifique et Technique de l'Industrie du Chauffage et de la Ventilation.

JOURNÉES INTERNATIONALES DE CHAUFFAGE, VENTILATION, CONDITIONNEMENT DE L'AIR

27-28-29 mai 1952

L'expérience américaine.

L'auteur montre les difficultés de comparaison des données théoriques et des résultats pratiques, examine un certain nombre de points particuliers. Il montre comment peuvent être réalisés des plafonds chauffants à tubes enrobés moins coûteux que ceux qui sont construits couramment en Angleterre, et aussi satisfaisants; il discute à ce propos la mise en œuvre des enduits. Il insiste ensuite sur la purge d'air des circuits, sur les précautions à prendre et sur les purgeurs. Il montre que certains procédés de mise en œuvre des sols chauffants ne peuvent être retenus comme valables et montre quelles dispositions on peut recommander, avec couche isolante inférieure en général. Il signale quelques cas de corrosion avec fibraglos et montre comment les éviter; de même pour les ruptures dues à la dilatation des tubes. Insistant sur la difficulté de calculer les déperditions, il examine dans quelle proportion le chauffage par rayonnement peut réduire les dépenses en combustible, en insistant sur les pertes de chaleur par les vitrages. La conclusion montre l'importance de la qualité de réalisation.

The author shows the difficulties in comparing the theoretical data and the practical results and examines a certain number of specific points. He shows how heating ceilings with embedded tubes may be built at less cost and as satisfactorily as those being currently constructed in England. In this connection he discusses the placing of coatings. Then, he insists on air venting, on the precautions to be taken and on air extrators themselves. He shows that certain methods of heating floor installation can not be considered as valid, and shows which arrangements are to be recommended (with a lower insulating layer, in general). He points out some cases of corrosion with fiberboards and shows how to avoid them; the same for rupture due to tube expansion. Stressing the difficulty of loss calculations, he shows to what extent radiant heating can reduce fuel expense, stressing the heat loss through the windows. The conclusion shows the importance of the quality of the work.

La technique allemande.

Après avoir examiné les données physiologiques de base justifiant le chauffage par rayonnement (qui permet des températures d'air plus basses, et protège mieux contre les parois froides), l'auteur étudie l'inertie calorifique des différents systèmes de chauffage, l'importance des facteurs de forme et des coefficients de rayonnement (à ce dernier propos, l'auteur résume les études qu'il a faites à ce sujet), les méthodes de calcul pratique des installations (émission normale des panneaux et émission marginale).

After examining the basic physiological data justifying radiant heating (which allows lower air temperatures and offers better protection against cold walls), the author studies the calorific inertia of the different heating systems, the importance of form factors and radiation coefficients (in reference to the last, the author summarizes the studies made by him on this subject), the practical calculating methods for installation (normal and marginal panel emissions).

La technique italienne.

Débutant par un exposé historique, l'auteur examine la réduction des déperditions que l'on peut obtenir en chauffage par rayonnement et donne les règles qu'il applique couramment, le rôle le plus important étant joué par la répartition verticale des températures, et par la calorifugation des panneaux. Les techniciens italiens utilisent la notion de température résultante sèche et n'accordent d'importance aux températures de sol que dans les locaux de luxe. Ils déterminent, semi-expérimentalement, la transmission de chaleur dans les panneaux en se ramenant par le calcul à un cas simple.

Starting with a historical survey, the author examines the reduction of losses through the use of radiant heating and gives the rules currently applied, the most important role being played by the vertical distribution of the temperatures and by panel heat insulation. The Italian technicians use the concept of the resulting dry temperature and do not attach any importance to floor temperatures in other than luxury premises. They determine the panel heat transmission semi-experimentally, calculating by reducing it to a simple case.

L'auteur examine ensuite quelques questions de détail : dispositif de sûreté (par mélange des eaux de retour), rafraîchissement par panneaux, combinaison avec le conditionnement d'air, installations économiques, inertie et régulation automatique, corrosion, problèmes statiques dans les dalles en béton armé, systèmes particuliers (à libre dilatation, à panneaux suspendus).

Then the author examines some questions of detail : safety devices (by mixing recirculated water), panel cooling, combination with air conditioning, economic installation, inertia and automatic regulation, corrosion, static problems of reinforced concrete slabs, specific system (freely-expanding, suspended panels).

La technique française.

L'auteur délimite les questions dont il s'occupera, fait un bref historique, et s'attache à montrer comment et dans quelles proportions le chauffage par rayonnement peut conduire à des économies de combustible (protection des émetteurs, convection réduite, distribution verticale et horizontale des températures d'air plus uniforme, réglage, difficultés de conduite). Grâce aux développements récents (sols chauffants, avec éventuellement dispositifs divers, plafonds à armatures chauffantes, plafonds suspendus), le chauffage par rayonnement peut avoir des prix d'installation qui concurrencent les systèmes classiques; cela est encore plus net lorsque les panneaux peuvent être utilisés en rafraîchissement, combinés ou non avec le conditionnement d'air.

The author defines the problems which he is to discuss, makes a historical review and proceeds to show how and to what extent radiant heating is conducive to fuel economy (protection of radiators, reduced convection, more uniform horizontal and vertical distribution of air temperatures, regulation, control difficulties). Thanks to recent developments (floor heating, with various possible heating devices, ceilings with heating coils, suspended ceilings) radiant heating may be installed at prices competitive with traditional systems. This is even more true when the panels can be also used for cooling, whether in combination or not with air conditioning.

Abordant ensuite les problèmes physiologiques, l'auteur montre comment et pourquoi le chauffage par rayonnement est plus agréable et plus « stimulant », quelles limites il faut assigner aux températures de sol et de plafond, pourquoi il y a moins de poussières et de microbes. Une dernière partie, consacrée aux panneaux en maçonnerie, examine les différents problèmes soulevés par l'enrobage (dilatations, fissuration des bétons, armatures chauffantes).

Passing on to physiological problems, the author shows how and why radiant heating is more agreeable and more « stimulating », what limits should be set to floor and ceiling temperatures, why there is less dust and less microbes. The last part, dealing with masonry panels, examines different problems raised by embedment (expansion, concrete cracking, heating coils).

ALLOCUTION DU PRÉSIDENT

A. MISSENARD

Pour la première fois en France, et peut-être par le monde, des techniciens, parmi les plus éminents de leur pays, se réunissent pour confronter leurs points de vue et le résultat de leurs expériences en matière de chauffage par rayonnement. On peut dire que cette date marquera une étape dans l'évolution de ces procédés. Ainsi s'explique l'importance que les techniciens français accordent à cette journée.

Il ne m'échappe pas que la question est épineuse du point de vue psychologique.

Le chauffage par rayonnement soulève plus de problèmes que les procédés classiques, par radiateurs par exemple.

En premier lieu, les questions purement thermiques sont justiciables de la physique classique, mais encore convient-il d'avoir vérifié, par des expériences de laboratoires ou de chantiers, l'exactitude des solutions données par le calcul, en fonction des simplifications ou analogies admises.

Il soulève également des questions de confort. Ce sont là déjà des problèmes plus délicats, car ils sont toujours plus ou moins entachés de subjectivité. La question de la sensation de chaleur globale est maintenant bien connue. Ce qui l'est moins, c'est l'influence des sensations de chaleur locale, en particulier sur la plante des pieds, qui conditionne la température maximum admissible au sol, ou bien sur le sommet de la tête, qui impose un maximum de température moyenne pour le plafond. Nous aurons d'ailleurs probablement à discuter ces dernières questions et à confronter nos différents points de vue.

Mais le problème le plus ardu dans le chauffage par rayonnement concerne la tenue des matériaux et, dans une certaine mesure, la tenue du bâtiment lui-même. Qui ne se rappelle la surprise générale en France, lorsqu'il y a 25 ans environ, un technicien particulièrement audacieux, M. BIGEAULT, s'avisait, à l'instigation des Anglais, de réaliser le chauffage de bâtiments en noyant des tubes dans le sol et les plafonds ? L'expérience montre qu'en respectant certaines précautions ces tubes se conservent parfaitement, mais il n'en reste pas moins qu'il subsiste des difficultés et que les règles de l'art doivent évoluer en fonction de l'expérience.

Il en est de même pour les températures admissibles pour le fluide chauffant, tant en raison des problèmes

de dilatation que de tenue des matériaux. De nombreuses recherches, actuellement en cours, permettent d'entrevoir d'importants progrès dans un proche avenir.

Comme tous les procédés nouveaux, le chauffage par rayonnement est plus ou moins l'apanage de maisons ou de groupements de constructeurs. Certains sont propriétaires de brevets, les uns très valables, les autres moins. D'aucuns publient généreusement les résultats de leurs recherches parce qu'ils estiment être couverts par leurs brevets; d'autres entourent de mystère l'application des plus simples lois de la physique.

Mais la plupart des constructeurs répugnent, à tort ou à raison, à dévoiler leurs méthodes de travail et de calcul. Certes, on ne peut pas trop les en blâmer, sachant combien le respect des brevets exige de vigilance et parfois de combativité. Et les procédés sont souvent mieux protégés par le secret que par des brevets.

Mais il n'en reste pas moins que plusieurs de ces brevets sont déjà tombés dans le domaine public et les procédés en cause peuvent faire l'objet de discussions désintéressées.

Je vous demanderai donc, dans toutes ces discussions, de répondre avec le maximum de courtoisie aux questions techniques qui pourraient vous être posées, respectant par avance la discrétion à laquelle vous pourriez être tenus par des questions extra-scientifiques. Nous savons, en effet, combien les travaux de laboratoire sont coûteux et s'ils ne devaient jamais profiter aux industriels qui les entreprennent, la recherche scientifique appliquée ne serait bientôt plus qu'un souvenir.

Le même VOLTAIRE que j'évoquais ce matin écrit également : « Le secret d'ennuyer est celui de tout dire. » Nous n'en sommes pas menacés en rayonnement !!... Je dois avouer d'ailleurs que j'ai eu une surprise agréable en lisant les diverses communications. Pour reprendre une formule, dont j'abuse peut-être parce que je la trouve excellente : « Une conférence doit être comme une robe de femme, suffisamment longue pour couvrir le sujet, suffisamment courte pour ne pas lui ôter d'intérêt !... » J'avais peur qu'elle fût réduite à un maillot de bain, ce qui aurait pu paraître peu sérieux dans un congrès de cette tenue ! Mais, comme vous allez pouvoir l'entendre, mes craintes étaient vaines.

THÉORIE ET PRATIQUE DU CHAUFFAGE PAR RAYONNEMENT L'EXPÉRIENCE AMÉRICAINE

par T. NAPIER ADLAM

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

J'ai le très grand regret de vous transmettre les excuses de M. NAPIER ADLAM. Celui-ci, qui comptait présenter personnellement sa communication, en a été empêché. Il faut reconnaître que, quel que soit l'intérêt de nos Journées, c'est un déplacement important que de franchir la grande mare, bien qu'elle l'ait déjà été d'un seul coup d'aile, il y a 25 ans, presque jour pour jour, par LINDBERGH.

D'origine anglaise, M. ADLAM s'est intéressé au chauffage dès sa jeunesse, alors qu'il était encore sur les bancs du collège. Son activité s'est essentiellement orientée vers la recherche, sur les purgeurs d'abord, puis sur le chauffage par rayonnement. Il est actuellement Vice-Président de la Sarco Manufacturing Co.

On peut dire que M. ADLAM est, de par le monde, un des savants les plus éminents en matière de chauffage par rayonnement. Son ouvrage, paru en 1947, eut le plus grand succès, et dépassant les frontières de l'Amérique, il est utilisé par de nombreux techniciens européens. Nous le remercions de l'honneur qu'il nous a fait de nous envoyer cette communication si intéressante.

Le texte de M. ADLAM sera lu par M. THIN, du Comité Scientifique et Technique de l'Industrie du Chauffage et de la Ventilation.

Pour les questions posées au sujet de la conférence de M. ADLAM, elles seront regroupées pour la discussion générale du chauffage par rayonnement.

M. CADIERGUES a été chargé par M. ADLAM et par la Société Sarco française de répondre à certaines questions. Pour les autres, elles seront envoyées à M. ADLAM qui s'est très aimablement offert à y répondre par lettre.

Je passe donc la parole à M. THIN pour la communication de M. ADLAM.

I. — Introduction.

C'est avec grand plaisir que j'ai préparé une conférence pour ces Journées, et je regrette de n'avoir pu y assister. Lorsqu'on prépare une telle conférence, il est souvent difficile de déterminer quels sont les points particuliers les plus intéressants pour l'auditeur et qui peuvent lui fournir la documentation la plus importante.

Cependant, au cours de mon voyage en Europe, il y a quelques mois, j'ai appris avec beaucoup d'intérêt que le chauffage par rayonnement, bien que né en Angleterre il y a plus de 40 ans et développé dans ce pays bien avant qu'il n'ait été envisagé sérieusement en Amérique, y fait l'objet de quelque appréhension de la part de jeunes ingénieurs de chauffage et d'architectes, d'une part en ce qui concerne quelques méthodes d'application, d'autre part en ce qui concerne ses principes eux-mêmes. A cette question, un certain nombre d'auteurs américains ont apporté des contributions importantes. Un des problèmes qui se posent semble provenir des proportions respectives qui ont été admises en Amérique pour le rayonnement et pour la convection des panneaux à basse température; l'autre problème qui m'a frappé est lié à l'émission de chaleur totale des panneaux, en particulier des panneaux de sol.

Bien que le chauffage par rayonnement semble avoir fait l'objet en Europe de beaucoup plus d'attention que jadis et que les problèmes de position et de rendement aient été mis en évidence, il me fut demandé plusieurs fois si, d'après mon expérience américaine, la théorie du chauffage par rayonnement donnait des résultats différents de ceux qu'on obtient dans la pratique réelle. Cette question soulève une discussion qui est de règle depuis longtemps dans presque chaque phase de la vie; c'est pourquoi j'ai intitulé mon article « Théorie et Pratique ».

Bien que cette question ait laissé un doute dans mon esprit sur la véritable impression que les ingénieurs de chauffage européens peuvent avoir des méthodes américaines, je les ai choisies comme thème de ma conférence, et j'espère que mes explications sur ce que nous avons appris en théorie et en pratique se révéleront à la fois intéressantes et utiles. Il me semble que l'une des raisons pour lesquelles la théorie du chauffage par rayonnement ne semble pas toujours d'accord avec la pratique est que nous connaissons assez peu l'une et l'autre; ceci me conduit d'ailleurs au problème de savoir ce qu'est cette théorie, dont on parle si souvent, et ce qu'est cette pratique qui semble mettre en échec une théorie pourtant remarquable.

Une théorie peut être un ensemble d'hypothèses, de spéculations ou de conjectures; ou elle peut être, comme en mathématiques, un corps de principes, de théorèmes ou de propositions analogues, liés à un sujet particulier. Quelques théories sont basées entièrement sur des hypothèses. Par contre, une théorie peut être également une mise au point basée sur des observations, des faits réels et des expériences, présentant les lois ou les principes de manière qu'ils puissent être suivis comme guide pour parvenir à des conclusions suffisamment précises.

Il semble raisonnable d'estimer qu'une théorie, qui s'est révélée suffisamment valable pendant 30 ou 40 ans, ne puisse être rejetée simplement parce que quelques résultats contradictoires peuvent apparaître subitement dans notre champ de vision, en particulier si ces résultats ne sont pas très bien compris. Je ne voudrais cependant pas sembler dogmatique, car en parlant d'une théorie, il faut se rendre compte qu'une théorie est elle-même une invention et ne peut être l'affirmation d'une vérité absolue. Tout comme une autre invention, une théorie peut être mise de côté lorsqu'elle cesse d'être utile, et

c'est pourquoi j'emploie l'expression « pas très bien comprise », parce que je crois que nous avons tous quelques doutes sur différentes questions concernant le chauffage par rayonnement, et même sur ce qu'il est en réalité. Les opinions diffèrent sur la manière dont l'énergie rayonnante est transmise à travers l'espace et sur son action réelle sur le corps humain.

Le vicomte SAMUEL, Président du *Royal Institute of Philosophy*, qui parlait récemment de la théorie de la relativité, aurait affirmé que la physique contemporaine lui donnait l'impression d'être basée sur des concepts quelque peu analogues au « sourire d'un chat absent ». En fait, des hommes comme DESCARTES, lord KELVIN, NEWTON, HUYGENS, FRESNEL, et bien d'autres, ont eu les uns et les autres des vues différentes sur la réalité de l'éther et sur la transmission des mouvements vibratoires ou des autres formes d'énergie lumineuse et thermique.

Alors que j'écris cet article, je m'aperçois qu'une autre théorie nouvelle se développe en Grande-Bretagne sous l'impulsion d'un des physico-mathématiciens les plus originaux de notre époque, le professeur DIRAC, de l'Université de Cambridge, Prix Nobel, qui vient de réintroduire l'éther alors que celui-ci avait été « exorcisé » par les théories d'EINSTEIN en 1905. Le professeur DIRAC fait une utilisation intensive de la théorie des quanta, et a fait progresser très nettement la théorie de la relativité grâce à un nouvel éther.

Sir William BRAGG disait un jour que la théorie de l'éther semblait fonctionner le lundi, le mercredi et le samedi, et non pas les autres jours de la semaine. La même remarque pourrait être exprimée par tous les ingénieurs de chauffage, concernant nos idées actuelles sur les pertes et les gains de chaleur puisque, pour des raisons apparemment inexistantes, les pertes de chaleur totales d'un bâtiment varient d'un jour à l'autre d'une manière indépendante des différences de température entre l'air extérieur et l'air intérieur. Je sépare d'ailleurs ici l'émission de chaleur des panneaux des déperditions totales du bâtiment, et je le fais parce que je souhaite attirer votre attention sur ce point ; j'essaierai d'introduire un peu plus tard dans cette étude une phase qui, je pense, vous aidera à comprendre mieux les contradictions les plus troublantes.

II. — Généralités sur le chauffage par rayonnement.

Sur la première question concernant la valeur des surfaces à faible température, on s'accorde en général sur le principe qu'indépendamment de la température réelle de la surface chauffée, la chaleur est émise d'une surface à plus haute température vers une surface à plus basse température, et que le taux auquel cette énergie est transmise de l'une à l'autre de ces surfaces dépend d'une certaine mesure de la différence des températures superficielles. Dès lors, lorsqu'on considère les valeurs relatives du rayonnement des surfaces chauffées selon leur position, on doit prendre en considération le but réel de ces panneaux. Il est fondamental de comprendre que nous créons des surfaces chaudes dans une pièce non pas pour apporter de la chaleur au corps humain qui en produit déjà plus qu'il ne lui en faut, mais pour accroître la température radiante moyenne jusqu'à un niveau quelque peu inférieur à la température du corps humain de façon à réduire les pertes par rayonnement des occupants. Ce faisant, nous cherchons jusqu'à un certain point à modifier ces pertes de chaleur selon les réactions physiologiques et psychologiques, de façon à procurer des conditions à la fois confortables et hygiéniques.

Ainsi, lorsque nous fournissons de la chaleur par le sol, il est vrai que la température superficielle du sol chauffant peut être plus faible que la température superficielle du corps, mais néanmoins nous avons réalisé notre objectif, qui est de maintenir le confort, et ce par des moyens essentiellement rayonnants, dans la limite où nous avons obtenu une température radiante moyenne suffisante, compte tenu de la température de l'air. Ainsi, il est possible, dans des conditions correctes d'établissement des projets, d'avoir un système de chauffage par rayonnement aussi efficace en utilisant des températures de sol relativement basses qu'en utilisant des températures superficielles plus élevées dans les murs ou dans les plafonds. J'insiste sur ce point parce qu'il a été affirmé par certains auteurs américains que, puisque la température superficielle du sol est plus faible que la température superficielle du corps, les locaux chauffés par le sol ne sont pas à proprement parler chauffés par rayonnement, une proportion considérable de la chaleur émise de ce sol l'étant par convection.

Il est exact que toutes les surfaces chauffées émettent de la chaleur par ce que nous appelons convection, indépendamment même de la position de ces surfaces pourvu qu'elles soient en contact avec l'air. Par ailleurs, quelques locaux peuvent exiger un apport complémentaire de chaleur convective pour compenser un taux élevé de ventilation, par exemple dans les salles de classe ; cependant que d'autres peuvent exiger l'addition de radiateurs, ou de panneaux d'allèges, pour compenser les pertes de chaleur excessives ou locales à travers les murs ou les fenêtres. En outre, il y a de nombreux cas où des conditions spéciales d'architecture ou d'utilisation exigent une certaine turbulence de l'air pour éviter la monotonie et où on doit utiliser si possible à la fois les ressources du mouvement de l'air et de la température radiante moyenne des locaux.

Il n'apparaît cependant pas qu'il y ait une raison manifeste pour qu'une quelconque des positions, qu'il s'agisse des murs, du plafond ou du sol, constitue la méthode la meilleure, ou la plus correcte, pour tous les types de bâtiments. La condition la plus importante est de ne pas réaliser une température superficielle de sol trop élevée, gênante pour le confort et la santé, et de ne pas utiliser de l'eau trop chaude dans les tubes lorsqu'elle pourrait provoquer des fissurations des enduits ou du béton.

Bien que nous ayons encore quelques doutes sur la manière dont l'énergie se transporte à travers l'espace, cette incertitude n'affecte pas sérieusement les principes que nous avons adoptés pour établir un certain confort avec des panneaux chauffants à basse température, et depuis de nombreuses années on s'est accordé à reconnaître que le rayonnement à basse température procure une ambiance plus confortable et plus hygiénique que les surfaces à très haute température, et en tout cas certainement plus économique.

Après plus de 40 ans d'expérience sur différents types de panneaux rayonnants actuellement en service, il paraît valable de dire que, dans la plupart des cas, quelques surfaces rayonnantes, d'une forme ou d'une autre, sont les caractéristiques essentielles du confort et sont l'une des armes les meilleures de l'ingénieur de chauffage lorsqu'il veut fournir des conditions à la fois confortables et hygiéniques. La même remarque vaudra également pour le rafraîchissement par rayonnement, lorsque cette méthode de climatisation pour les périodes chaudes aura reçu l'attention qu'elle mérite. Bien que les panneaux rayonnants soient à considérer comme l'une des méthodes les meilleures, ce n'est pas la seule pour tous les bâtiments,

et aucun ingénieur de chauffage compétent ne doit devenir l'esclave d'aucun type de chauffage.

Jusqu'ici, j'ai limité mes remarques à quelques-uns des points les plus saillants concernant ce qu'on pourrait appeler la phase théorique du sujet, sans entrer dans le détail de la pratique quotidienne actuelle. Ce faisant, nous ne pouvons guère parvenir qu'à cette conclusion : bien que nous sachions expérimentalement que les surfaces chaudes employées correctement sont plus confortables que l'air chaud et les surfaces froides, nous savons peu de choses sur la manière dont la chaleur se transmet et sur son action réelle sur le corps humain.

Il est sans doute regrettable pour les ingénieurs consciencieux que quelques auteurs et artistes aient décrit en termes lyriques et avec une imagination déchaînée le rayonnement émis à basse température comme une source de santé analogue au soleil. Cependant, si les surfaces rayonnantes à basse température sont correctement construites de façon à assurer un confort plus hygiénique que les ambiances sèches et brûlantes qu'on obtenait souvent jadis des systèmes de chauffage à vapeur ou à air chaud, il se peut qu'involontairement ces articles non techniques contiennent plus de vérité que bien des articles qui, sous le signe du progrès, semblent avoir cherché soit à jeter la confusion, soit à éloigner les esprits d'une meilleure méthode de chauffage.

III. — Réalisations pratiques.

Par suite du temps et de l'espace limités dont je dispose je n'ai pu présenter que quelques idées relatives à la théorie du chauffage par rayonnement. Il faut maintenant passer à l'autre partie de ce sujet et considérer quelques unes des méthodes actuelles d'application, à la fois en Europe et en Angleterre. Je reviendrai de nouveau à la théorie plus tard, en particulier parce que quelques ingénieurs européens ont cherché à élargir leurs vues et à s'aider des idées américaines pour essayer de développer des méthodes moins coûteuses. Nous avons mis au point en Amérique de nombreuses méthodes de construction et de mise en œuvre de panneaux rayonnants et, bien que certaines d'entre elles soient très ingénieuses et méritent d'être prises en compte, nous avons connu un grand nombre d'installations à bon marché de mauvaise qualité, ce qui, je pense, sera déploré par tous les bons ingénieurs. Quelques-unes d'entre elles — je l'expliquerai dans le but de mettre en garde contre une solution qui peut séduire par suite de son faible prix mais qui doit être rejetée par suite de ses défauts inhérents — pourront perturber considérablement le public.

Enduits de plafond.

En ce qui concerne d'abord les panneaux, il m'est apparu que de nombreux clients européens demandaient une garantie quinquennale contre les fuites des tubes et la fissuration des enduits, ce qui obligerait l'installateur à prendre toutes précautions contre une telle éventualité. Sur ce sujet, il peut être intéressant d'examiner la méthode adoptée habituellement en Angleterre, et dont la figure 1 constitue une illustration typique. On fixe d'abord le métal déployé sous les poutres, puis on y suspend les serpentins, méthode que nous recommandons toujours en Amérique. Bien que les détails de la figure 1 ne représentent que schématiquement les panneaux à métal déployé au-dessus et au-dessous des tubes, il a semblé satisfaisant d'utiliser du liège, de la fibre de roche ou d'autres matériaux au lieu de métal déployé au-dessus

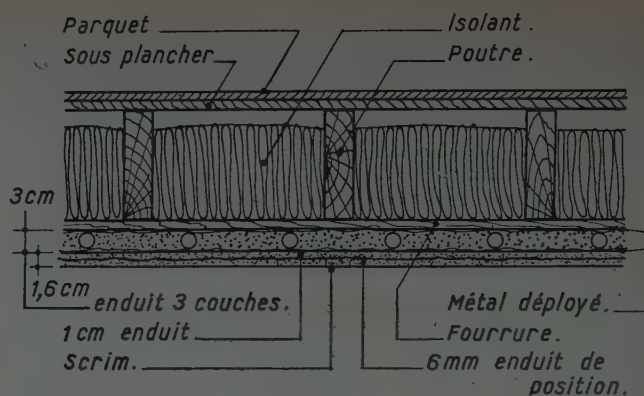


FIG. 1. — Coupe montrant la méthode anglaise de construction des panneaux de plafond enrobés dans l'enduit entre deux couches de métal déployé.

des tubes, ou de fixer les tubes à un plafond existant. Une fois que les serpentins ont été mis en place et alignés correctement, l'enduit est mis en œuvre de façon à couvrir complètement les tubes. Le matériau généralement utilisé pour cela, en général d'environ 3 cm d'épaisseur, est appliqué en trois couches et est constitué d'un mélange de sable, de chaux et de ciment Portland, armé de poils de vache. Les trois couches sont appliquées l'une après l'autre, dès que la précédente a fait suffisamment prise, et l'ensemble des trois est d'une épaisseur suffisante pour enrober complètement les tubes.

Une autre couche de métal déployé est alors appliquée à la face inférieure de l'enduit et fixée au moyen de fils précédemment passés autour des tubes. Un enduit d'application, de la même nature que précédemment, de 5 à 6 mm d'épaisseur, est alors appliqué sur le métal déployé avec suffisamment de force pour pousser l'enduit à travers le métal déployé et le faire adhérer à la face inférieure du panneau. La surface de cet enduit est rendue rugueuse et on la laisse sécher pendant plusieurs jours avant d'ajouter l'enduit « flottant » proprement dit, d'une épaisseur de l'ordre de 1 cm. En Grande-Bretagne cet enduit est un mélange de sable et de chaux armé de poils de vache et fait en petites quantités pour être utilisé avec du plâtre. L'enduit de finition est alors appliqué à une épaisseur de 5 à 6 mm avant que l'enduit « flottant » soit sec. Cet enduit de finition contient une grande proportion de chaux et est renforcé avec une toile de jute d'une maille de l'ordre de 3 mm. La plâtre a une durée de prise normale de seulement 15 mn, aussi le « scrim » doit-il être appliqué très rapidement. C'est là sans aucun doute une méthode très valable et de très grande durabilité, permettant de se protéger contre les fissurations, et ceci d'autant plus que la température d'eau utilisée est en général plus faible qu'aux U. S. A.

Je connais cependant de très nombreuses installations aux U. S. A. qui ont été construites conformément aux schémas des figures 2 et 3, qui sont en usage depuis de nombreuses années et ne présentent aucune fissuration des enduits, ni aucun autre trouble. L'enduit de finition est, dans ce cas, appliqué sans utiliser d'armature de jute et sans aucune autre précaution spéciale, sauf celles qui sont usuelles dans la construction des plafonds, et en fixant les tubes dans l'enduit au-dessus du métal déployé de sorte qu'ils puissent se dilater et se contracter sans répercussion sur l'enduit fini. D'après notre expérience américaine, ce procédé peut constituer une excellente substitution à la méthode anglaise illustrée à la figure 1, car c'est une méthode moins coûteuse. Cette

recommandation par contre n'est pas valable pour quelques-unes des méthodes bon marché utilisées aux U. S. A.

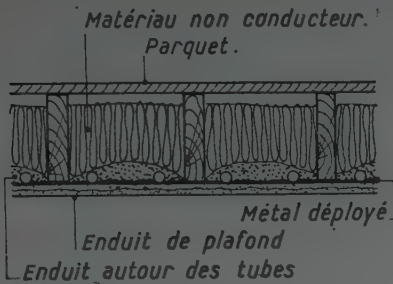


FIG. 2. — Plancher en bois avec tubes entre les poutres, enrobés dans l'enduit au-dessus du métal déployé.

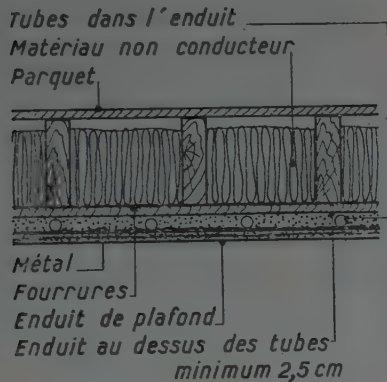


FIG. 3. — Plancher en bois avec tubes parallèles aux poutres, ou perpendiculaires, supportés par des fourrures et enrobés dans l'enduit au-dessus du métal déployé.



FIG. 4. — Tubes suspendus sous le métal déployé, avant l'application de l'enduit de plafond.

Si nous comparons les précautions prises à la figure 1 pour éviter les fissurations de l'enduit à celles indiquées aux figures 4 et 5, qui représentent la pratique américaine la plus courante avec le type de construction le moins coûteux, nous y trouvons une différence considérable de construction qui ne peut être mise à l'avantage des derniers procédés. Ces procédés très bon marché sont généralement conçus avec du métal déployé à la face inférieure des poutres auxquelles on fixe des tubes de 10 ou 12 mm de diamètre. Bien qu'avec beaucoup de soin il soit possible d'avoir un bon nivellement des tubes tel qu'il est montré figure 4, j'ai vu de nombreuses installations où un affaissement important des tubes se produit entre les supports. Par suite, certaines parties des serpentins sont couvertes par une épaisseur raisonnable d'enduit; d'autres sont au contraire très près de la surface finie.

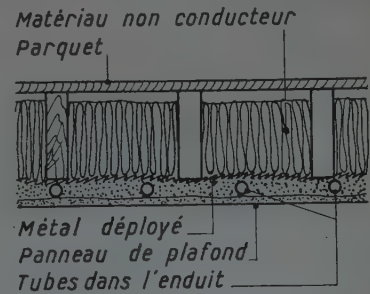


FIG. 5. — Tubes enrobés dans l'enduit sous le métal déployé.

Bien que je n'aie pas rencontré de mises en œuvre de mauvaise qualité en panneaux de plafond aussi fréquemment qu'en panneau de sol, j'ai cependant visité un certain nombre d'habitations dans lesquelles il y a peu ou pas de chaleur fournie par le plafond dans certaines pièces, ce qui a obligé les occupants à utiliser un chauffage électrique d'appoint. En outre j'ai vu en Amérique beaucoup de plafonds fissurés ou décolorés, ces désordres étant dus soit à la haute température d'eau soit à la faible distance des tubes à la surface apparente. En outre, il n'est pas tellement rare de trouver des installations où, par suite de la haute température de l'eau et de la nature de l'enduit, il se produit une sorte de « tempête de neige » due à une désintégration chimique de l'enduit et au détachement progressif de poussières et d'écailles d'enduit qui tombent sur le sol comme de la neige.

Lorsqu'il s'agit de plafonds enduits, je préfère avoir les serpentins au-dessus du métal déployé, tels qu'on les trouve aux figures 1 ou 3, plutôt que d'avoir les tubes enrobés dans l'enduit de finition au-dessous du métal, tel qu'il est montré figure 5. Je ne veux pas suggérer que les procédés des figures 2 et 3 sont meilleurs que le procédé anglais de la figure 1, mais, comme le procédé anglais est certainement plus coûteux et que les procédés des figures 2 et 3 se sont révélés satisfaisants depuis de nombreuses années, je ne crains pas de faire ces recommandations. On pourrait raisonnablement pro-

poser de placer des conducteurs électriques dans l'enduit fini, bien que les fabricants de conducteurs électriques pour chauffage par rayonnement recommandent de n'utiliser aucune armature métallique au niveau où elle pourrait être croisée par les conducteurs, cela par suite du bruit engendré par le fil lorsque le chauffage est allumé.

En ce qui concerne la mise en place des tubes de cuivre sous le métal déployé, il semble qu'il y ait une certaine imprécision dans l'opinion des différents fabricants de tubes américains. Certains fabricants recommandent de placer les tubes sous le métal déployé, pensant que cela peut être fait correctement; cela permet en outre une construction moins coûteuse, faisant plus facilement concurrence aux systèmes de chauffage bon marché. Cependant, d'autres fabricants de tubes pensent qu'il est plus sûr de placer les tubes au-dessus du métal déployé, compte tenu du fait que :

1° De très nombreux ouvriers ne sont pas habitués à ce type de travail;

2° Qu'une mauvaise construction jette le discrédit à la fois sur le système et sur la firme.

De nombreux ingénieurs, qui dans leurs premiers essais de chauffage par rayonnement avaient placé dans leurs panneaux de plafond les tubes sous le métal déployé, ont dû abandonner cette pratique par suite des ennuis qu'ils ont rencontrés et insistent maintenant sur la nécessité de placer les serpentins suivant des principes analogues à ceux des figures 2 et 3; comme la surface du plafond, dans tous les cas, doit être plane et même très régulière, l'épaisseur de l'enduit fini, lorsque les tubes sont placés sous le métal déployé, varie entre une valeur très faible aux endroits où la flèche des tubes est importante et une valeur très forte entre les tubes, cette variation étant particulièrement importante lorsque le métal déployé lui-même peut fléchir (fig. 5). Cette faiblesse est aggravée par les charges et contraintes provoquées dans l'enduit par la dilatation et la contraction des tubes sous l'influence des changements de température.

Lorsque les tubes sont placés au-dessus du métal déployé, l'enduit de finition est appliqué uniformément sur toute la surface et cet enduit a en outre moins de poids à supporter. Les fabricants qui recommandent de placer les serpentins au-dessus du métal déployé insistent sur le fait qu'on peut toujours forcer suffisamment d'enduit à travers le métal déployé pour couvrir pratiquement les tubes et les rendre ainsi pleinement efficaces. Cependant, bien qu'il soit effectivement possible de forcer l'enduit de façon à couvrir pratiquement les tubes, je pense qu'il est nettement préférable de couvrir complètement ces tubes avec un enduit d'une épaisseur telle qu'il dépasse d'au moins 1 cm la partie supérieure de ces tubes et de répandre cet enduit sur toute la surface située entre les poutres. Il en résulte une meilleure transmission de chaleur des tubes au plafond, une meilleure distribution de températures sur toute la surface du plafond, des contraintes plus faibles dans l'enduit fini, ce qui réduit les probabilités de fissuration et entraîne une réduction de la chaleur transmise vers le haut. Ce dernier point est renforcé du fait qu'avec les tubes complètement enrobés, on peut utiliser une température d'eau plus faible.

Dans certains cas, il peut s'avérer difficile de mettre en œuvre l'enduit au-dessus des tubes une fois que le métal déployé a été fixé; cependant comme cet enduit situé au-dessus des tubes peut être placé avant que le plafond soit terminé, il est souvent possible de le mettre en œuvre avant que tout accès soit obturé.

Poches d'air.

Avant d'abandonner la question des plafonds, je voudrais étudier la question des ennuis rencontrés quelquefois par suite d'un manque d'émission de chaleur. J'ai toujours trouvé que, lorsqu'il y avait une absence complète ou une insuffisance d'émission des panneaux de plafond, c'est qu'il y avait des poches d'air qui étaient restées dans les serpentins depuis leur installation et qui étaient dues soit à des contre-pentes provenant d'une mauvaise mise en œuvre, soit à des points hauts pour lesquels on ne s'était pas préoccupé de la poche d'air. Je ne peux trop insister sur la question des poches d'air, parce qu'il est véritablement peu coûteux de faire des installations en en tenant compte, alors qu'au contraire il est souvent impossible ensuite de situer les poches d'air et d'y porter remède sans démolir une partie du gros œuvre, ce qui est toujours très coûteux.

L'idée d'après laquelle une pompe de circulation à charge élevée déplacera toujours les poches d'air se trouve être en effet fallacieuse et n'est habituellement recommandée que par des installateurs peu expérimentés pour obvier à des erreurs qui ne devraient pas exister. Bien qu'une pompe de grande charge puisse apporter une certaine aide dans les petites installations, on s'aperçoit invariablement que des poches d'air, même petites, gênent la circulation dans les circuits et provoquent un déséquilibre. En outre, il y a certains types de poches d'air qu'une pompe même de grande charge ne peut déplacer et il est impossible à un ingénieur compétent d'excuser de telles pratiques sachant que le client aura, dans ce cas, à dépenser plus d'énergie électrique et n'aura qu'une installation de mauvaise qualité. La seule méthode sûre pour prévenir ces difficultés est de fixer les tubes de telle sorte qu'il ne puisse se former de poches d'air ni au moment de l'installation, ni ultérieurement.

Purgeurs.

Une méthode très simple et peu coûteuse pour assurer la purge est d'utiliser un réservoir sur la colonne princi-

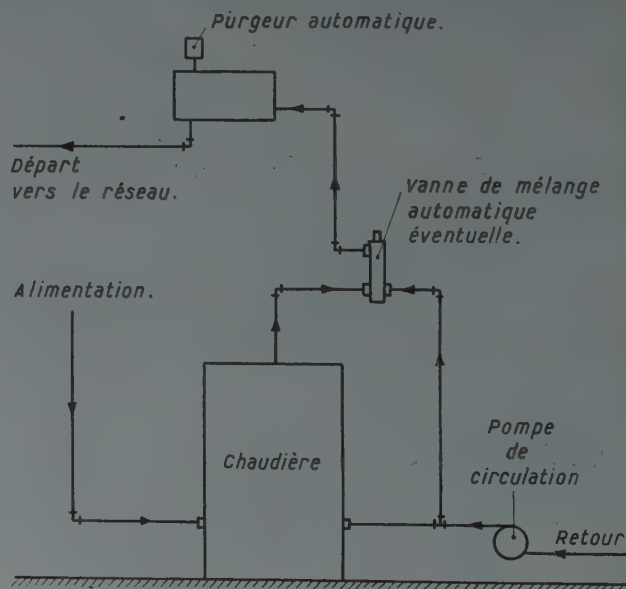


FIG. 6. — Méthode de purge d'air par un réservoir placé en un point haut. Cette figure illustre un point très important.

pale entre la chaudière et les serpentins, comme le montre la figure 6. Comme la continuité de l'écoulement est interrompue dès que l'eau entre dans le réservoir, il y a moins de chance pour l'air d'être entraîné avec l'eau que dans le cas où on a simplement prévu un tube de purge. Même avec la méthode de la figure 6, ou avec toute autre méthode analogue, il n'est pas satisfaisant de laisser des points hauts où l'air peut s'accumuler sans prévoir des dispositions de purge.

Pour quelques types de toitures à faible pente, il est souvent difficile d'installer des purgeurs au-dessus des serpentins par suite du manque de place. Il y a cependant différents types de purgeurs qui permettent de résoudre ce problème. La figure 7 illustre un de ces dispositifs combinant l'organe de réglage et le purgeur d'air.

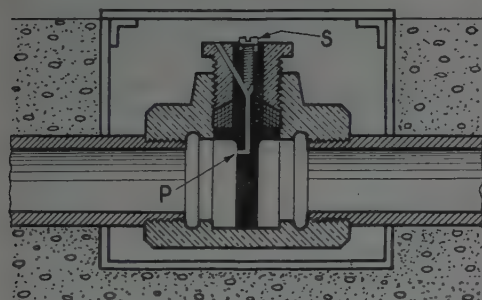
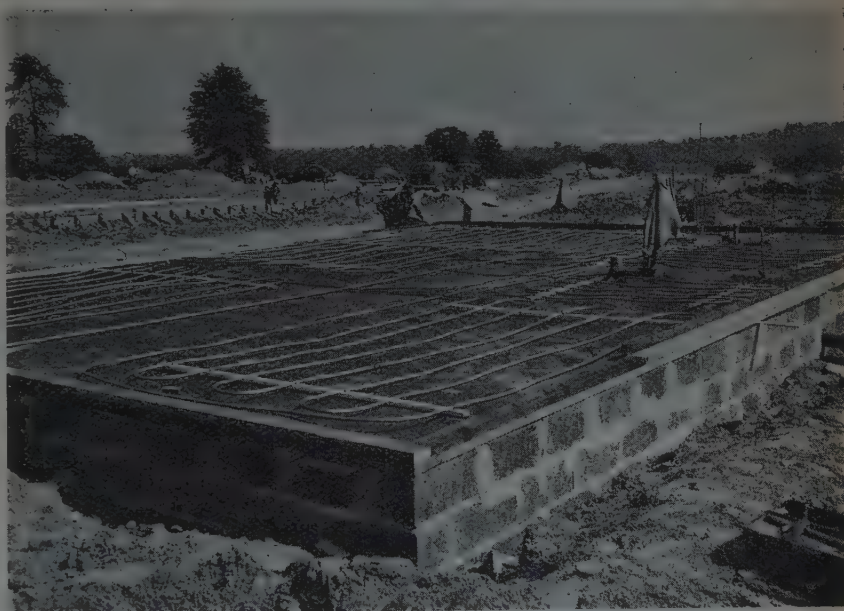
Pour les sols, le réglage est placé à la partie haute, tel qu'il est montré figure 7. L'air qui s'accumule dans les tubes peut s'échapper par l'orifice P et de là par le trou dans la tige du robinet, lorsque la vis S (en acier inoxydable) est légèrement ouverte. La rotation du robinet est indépendante et permet de régler le débit. Pour les plafonds, le dispositif de réglage est simplement inversé et fixé avec le robinet à la partie inférieure, tel qu'il est montré figure 7. Dans ce cas, l'air s'échappe à travers l'orifice O et de là vers le bas à travers le trou de la tige du robinet, lorsque la vis est desserrée. Bien que ce système, ou d'autres systèmes analogues, laisse au propriétaire la possibilité d'effectuer manuellement la purge, de nouveaux occupants peuvent ne pas connaître son existence et peuvent parfois

difficilement éviter les ennuis dus aux poches d'air. D'où l'intérêt de la mise au point d'un système de purge automatique, sans intervention manuelle.

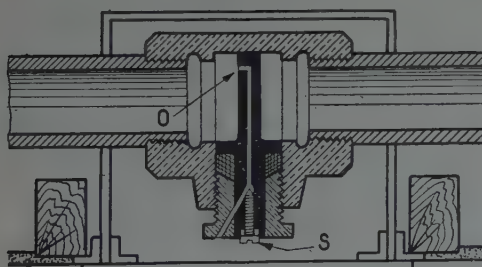
Panneaux de sol.

Sans aucun doute, les ingénieurs de chauffage américains ont fait de grands progrès dans le développement des méthodes d'application du chauffage par rayonnement et obtiennent de bons résultats en ce qui concerne à la fois l'efficacité et la durabilité; nous pouvons voir actuellement de nombreux exemples de travail de bonne qualité. Il y en a d'autres cependant qui n'ont pas eu une expérience suffisante des systèmes de chauffage pour faire la différence entre les travaux valables et les autres, et qui nous ont donné quelques mauvais exemples de ce qu'on appelle du chauffage par rayonnement. Des

FIG. 8. — Méthode de mise en œuvre des tubes pour un sol en béton, supportés et fixés par des lattes de bois.



INSTALLATION DE SOL



Enduit de plafond

INSTALLATION DE PLAFOND

FIG. 7. — Coupe de dispositif de réglage et de purge d'air.

En haut : panneaux de sol;
En bas : panneaux de plafond.

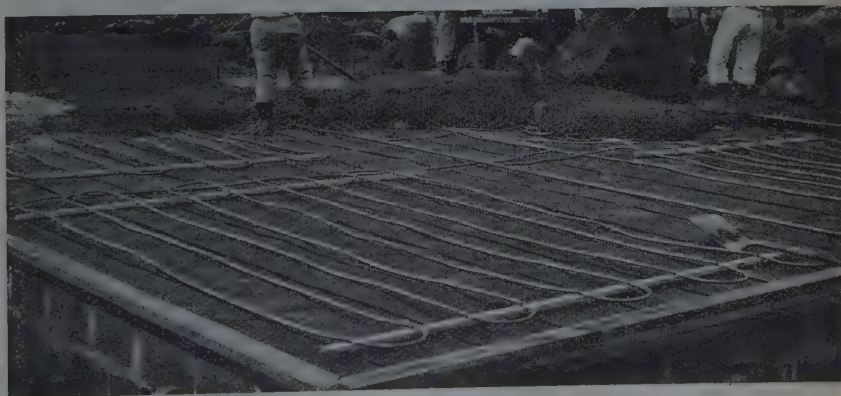


FIG. 9. — Coulage du béton sur tubes mal placés; défectuosité aggravée par la négligence des ouvriers marchant sur les tubes.

exemples typiques du genre de travail effectué dans un grand nombre d'habitations, que j'ai inspectées il y a quelque temps, sont représentés aux figures 8 et 9. Par comparaison, je présenterai (fig. 10) ce que je considère comme un projet beaucoup plus valable et ceci pour illustrer la manière dont le sol d'un bâtiment résidentiel peut être mis en œuvre sans ajouter beaucoup au prix d'installation. Les figures 8 et 9 sont présentées ici pour montrer que ces méthodes ont déjà été pratiquées en Amérique et que de ce fait elles pourraient être, dans l'avenir, présentées comme une pratique du chauffage par rayonnement. Le danger est que, lorsque nous nous écartons des principes corrects de chauffage, indépendamment du nom que nous lui donnons, il ne semble plus y avoir de limites aux erreurs que l'on peut faire.

On notera dans ces photographies qu'on n'a absolument pas essayé d'assurer un bon nivellement des serpentins et l'absence de poches d'air, ni au moment de la mise en place, ni ultérieurement. Les ouvriers marchent

avec leurs chaussures lourdes sur les tubes de cuivre au moment de la coulée du béton, ainsi que le montre la figure 9. On notera que, dans la figure 10, les serpentins reposent sur un matériau d'étanchéité étendu sur une couche de pierres concassées nivelées de façon à fournir un bon support aux tubes. Bien que cela ne soit peut-être pas la méthode de construction la plus adéquate, c'est une amélioration par rapport à quelques-unes des plus désastreuses méthodes que j'ai rencontrées, et de nombreuses installations se sont révélées très satisfaisantes sauf lorsqu'il y a une perte de chaleur importante vers le sol.

La figure 11 représente une mise en œuvre analogue pour les serpentins de sol, mais dans ce cas on a placé une couche de béton sur le ballast de façon à réaliser un support plus rigide pour les tubes et à réduire en grande partie les pertes de chaleur vers le sol. Une couche de béton sous les tubes n'assure pas seulement une base plus solide aux serpentins, ce qui permet de les installer sans poches d'air et sans coude, mais elle permet en outre, lorsque la couche supérieure de béton est coulée, d'avoir un enrobage complet des tubes dans le béton et d'avoir ainsi un système plus efficace. Lorsque les tubes sont complètement enrobés, leur augmentation d'efficacité permet d'adopter une température d'eau plus faible, ce qui réduit considérablement les pertes de chaleur vers le sol.

Une amélioration du rendement thermique est obtenue en plaçant une couche de vermiculite, ou d'autres matériaux analogues de faible conductibilité, sous les serpentins. Tout bon matériau d'isolation réduira la transmission de chaleur vers le bas et fournira un système plus efficace avec peu d'augmentation sur le prix de la construction. Un petit supplément sur les frais d'investissement sera rapidement compensé si les résultats sont satisfaisants, alors que des résultats peu satisfaisants jettent un discrédit inoubliable sur chacun.

Corrosion.

Il y a cependant un point très important qui ne doit pas être oublié lorsqu'on parle de serpentins de sol, c'est la possibilité de corrosion due à l'humidité qui monte du sol. Un certain nombre de cas m'ont été signalés durant ces dernières années, et par suite de l'importance de ce phénomène, il faut lui accorder une grande attention. Il ne semble pas y avoir de relation très nette entre le type de réalisation du sol et le type de corrosion; il apparaît cependant que la corrosion est plus fréquente lorsqu'il n'y a pas de couche inférieure de béton, en particulier lorsque le sol est naturellement humide et lorsqu'il y a eu des sources d'eau avant la construction.

Le Celotex, ou d'autres matériaux qui conservent certains produits chimiques utilisés au cours de la fabrication, doivent être éliminés lorsque l'humidité est possible, parce que, lorsqu'ils sont placés en-dessous des serpentins, ils semblent très actifs lorsqu'il existe la moindre

FIG. 10. — Tubes reposant sur une feuille étanche couvrant un lit de pierres concassées. Vue avant coulage du béton.

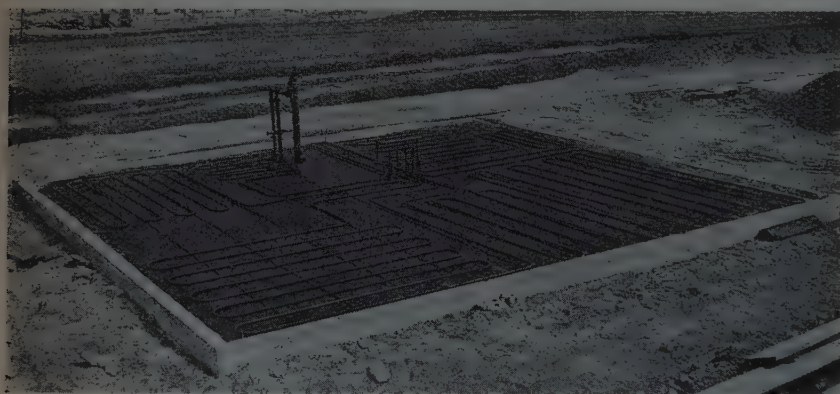


FIG. 11. — Tubes placés sur une couche en béton au-dessus de pierres concassées.

trace d'eau. J'ai trouvé plusieurs cas de ce genre, où les tubes avaient été profondément attaqués et les serpentins rendus inutilisables, le mortier coulé autour de ces endroits poreux n'ayant semblé apporter aucune aide. J'ai connu des cas où cette corrosion s'est produite en dépit du fait qu'une couche de brai eut été placée sur le béton de fondation, avant que le Celotex ne soit mis en place.

Compte tenu de cette possibilité de corrosion et du fait que des tubes à paroi mince sont actuellement recommandés pour les serpentins de sol et de plafond, un grand soin doit être accordé au choix du type de tubes et de l'épaisseur de leurs parois. Quelques dollars de supplément d'installation compensent largement les centaines, ou peut-être les milliers, de dollars que peuvent coûter des réparations ultérieures. Ainsi, l'action du Celotex en contact avec un peu d'humidité paraissant très dangereuse, je me permets de recommander de n'utiliser ce matériau que lorsqu'il est absolument certain que l'humidité ne peut l'atteindre.

Dilatation.

Un autre point, qui doit être pris en considération lorsqu'on réalise un revêtement en béton de grande surface, concerne l'effet de la dilatation et des contractions du béton sur les serpentins, en particulier lorsque des éléments en bronze sont installés au voisinage des joints du béton. Comme il est recommandable d'utiliser des joints de dilatation entre chaque section de sol en béton, on doit faire attention à ce que les mouvements de dilatation ou de contraction des différentes sections ne créent pas de contraintes exagérées aux joints et dans les canalisations. Les raccords, les vannes et les robinets de réglage doivent être éloignés des joints de dilatation du béton et la conception du sol et des tubes doit être telle qu'aucune dilatation du béton ne se produise en créant des contraintes trop importantes sur les tubes. J'ai vu se produire par ce fait des incidents sérieux et quelques raccords en bronze cisailés parce que des précautions n'avaient pas été prises.

Il ne faut pas trop se fier à l'affirmation fréquente que, puisque le coefficient de dilatation des tubes est voisin de celui du béton, il n'y a pas de danger de rupture des tubes. J'ai recommandé très souvent que des matériaux résilients, imperméables à l'humidité et ne contenant pas de produits chimiques susceptibles d'attaquer les tubes en présence d'humidité, soient fixés autour de ces tubes lorsqu'il peut y avoir des mouvements importants, et que la longueur des tubes enrobés dans un matériau rigide soit aussi réduite que possible. Pour réaliser ces conditions, les serpentins doivent être multipliés de sorte que leur longueur soit maintenue à des valeurs raisonnables. Cette recommandation s'applique en particulier aux panneaux en forme de grilles où les joints soudés constituent des points faibles. Quelques précautions dans ce domaine éviteront des incidents ultérieurs.

De nombreux systèmes de chauffage par rayonnement que j'ai visités ont été mis hors service, et le confort d'installations coûteuses anéanti, simplement par suite de pratiques incorrectes lors de l'installation des tubes, conduisant non seulement à une circulation peu satisfaisante, mais également dans certains cas à une fissuration des sols et des plafonds. Dans un certain nombre de ces cas, j'ai trouvé que les sols étaient trop chauds, alors que dans d'autres cas des poches d'air dans les serpentins, engendrées par des tubes mal dimensionnés ou mal fixés, avaient provoqué une insuffisance du chauffage dans certaines pièces, alors que d'autres étaient au contraire

surchauffées. Ces défauts ne peuvent trouver ensuite remèdes que par des modifications profondes qui ne peuvent être que très coûteuses.

IV. — Transmission de chaleur en chauffage par rayonnement.

Considérations générales.

Avant de passer à la question de l'émission de chaleur par les panneaux chauffants, je voudrais étudier un problème que nous avons rencontré aux États-Unis, concernant les déperditions, et sur ce point, je veux parler des déperditions totales basées simplement sur la différence entre la température d'air dans les bâtiments et la température de l'air extérieur. Il y a bien des années que l'on sait que, sous certaines conditions, un bâtiment peut perdre beaucoup de chaleur par rayonnement, indépendamment de la température de l'air et qu'inversement, pour les mêmes conditions un bâtiment peut recevoir une quantité de chaleur rayonnante importante. Il est assez simple, en utilisant un instrument adéquat, de mesurer la chaleur reçue des nuages par la terre et les bâtiments, quantité qui à certains moments apparaît suffisante pour modifier l'équilibre thermique d'un bâtiment, en particulier lorsque le système de chauffage est réglé par un appareil extérieur-intérieur, commandé seulement par la température extérieure.

Cependant les gains ou pertes de chaleur dont je veux parler sont indépendants de cela, ainsi que du rayonnement solaire et des échanges qui peuvent se produire avec d'autres bâtiments au voisinage de celui-ci, et ils semblent être particulièrement notables avec les structures vitrées, telles que serres, etc. Pour expliquer ce phénomène, on a calculé que le rayonnement qui fournit ces gains de chaleur provient d'une couche à haute température située à une altitude très supérieure à celle de notre atmosphère et, en confirmation, nous apprenons de l'organisation scientifique de la *Rand Corporation* de Santa-Monica, en Californie, qu'au dessus de l'atmosphère terrestre, qui peut s'étendre à plus de 25 000 km, existe une température de 10 000° C. Nous apprenons également que la température à 600 km est de 2 000° C et que l'atmosphère terrestre, à une distance d'environ 80 km, est à une température de l'ordre de — 45° C. Récemment, une température de — 58° C a été enregistrée par un avion anglais à une altitude de 12 000 m, ce qui prouve l'existence d'une couche de basse température qui peut absorber l'énergie rayonnante. Bien que les températures réelles et les conditions ne soient peut-être pas exactement celles qui sont rapportées, il n'est pas invraisemblable que des modifications périodiques dans la zone supérieure de l'atmosphère provoquent des conditions qui permettent à l'énergie rayonnante de traverser la couche à basse température et de nous atteindre venant de l'espace calculé pour être à 18 000° C, et qu'à d'autres périodes, lorsque l'énergie provenant de cette zone à haute température est arrêtée, la terre rayonne vers des zones à — 45 ou — 58° C.

J'ai mentionné ce fait pour montrer que les résultats que nous obtenons un jour peuvent paraître erronés lorsqu'on les compare à ceux obtenus un autre jour. Cependant, comme ma principale raison pour soulever la question des pertes de chaleur d'un bâtiment est de montrer comment des résultats erronés peuvent être pris en compte, en particulier ceux qui concernent l'émission de chaleur des sols, je voudrais dire que les taux élevés d'émission qui ont été annoncés en Amérique pour des

panneaux de sol ne sont pas valables pour un sol à 29° C et l'air à 20-21° C, mais calculés en se basant sur certaines déperditions du bâtiment qui peuvent être complètement erronées. Je vais donc jusqu'à suggérer que les conclusions, auxquelles on est parvenu dans certains cas spéciaux qui ont été cités, sont dues au fait qu'elles sont basées sur des calculs de déperditions utilisant des valeurs de coefficient K déterminées pour des conditions assez différentes de celles qui existent en chauffage par rayonnement. En conséquence, si de telles valeurs élevées de K , qui sont nécessaires pour certains systèmes de chauffage, sont utilisées pour estimer les déperditions de bâtiments utilisés dans ces recherches, il est pratiquement certain que la quantité de chaleur ainsi déterminée sera très nettement supérieure au rendement réel, ou même possible.

C'est en tenant compte de ce fait qu'il faut aborder le sujet, afin de déterminer jusqu'à quel point on peut tirer des conclusions valables de faits réels.

Économie de combustible.

On m'a posé fréquemment en Europe la question suivante : est-il exact qu'il n'y ait aucune économie de combustibles dans les systèmes de chauffage par rayonnement, en particulier ceux qui sont utilisés en Amérique et au Canada ? ainsi que le laissent supposer des informations parues plusieurs fois dans la littérature américaine et canadienne.

Sur ce point, il peut être intéressant de vous signaler qu'au cours d'une discussion sur le chauffage par rayonnement, que j'ai eue avec une grande société anglaise durant ma dernière visite en Europe, je soulevai la question de la réduction des déperditions avec panneaux rayonnants par rapport aux radiateurs ou autres méthodes de chauffage. La réponse que j'obtins fut que, pour des travaux analogues, cette société réduisait systématiquement la puissance de la chaudière d'environ 40 % lorsqu'elle utilisait des panneaux rayonnants au lieu d'autres émetteurs de chauffage.

Bien qu'il ne semble y avoir aucune raison apparente pour une telle société, de réduire la puissance de la chaudière au-dessous d'une limite de sécurité ou d'économie, cette réduction peut apparaître exagérée même pour l'Angleterre, et cependant je n'ai aucune raison de douter de sa validité. Je mentionne cela parce qu'il semble très probable que, du fait que cette société ait utilisé toutes sortes de systèmes de chauffage depuis plusieurs décades et des panneaux rayonnants depuis près de 40 ans, et qu'elle considère très justifié de faire une telle réduction, on puisse atteindre une économie thermique substantielle.

Une preuve plus convaincante d'économie peut être tirée des résultats obtenus dans différentes installations de l'une des Compagnies du gaz américaines les plus importantes, dans la région de Philadelphie. Il m'a été dit que, sur huit centrales à gaz avec des distributions identiques, avec pratiquement les mêmes déperditions dans tous les cas, quatre étaient équipées avec des sols chauffants et une température d'eau réglée sur la température extérieure, et quatre autres équipées avec des aérothermes à fonctionnement par tout ou rien.

Après quatre années de fonctionnement et des contrôles incontestables des Ingénieurs de la Compagnie fournissant le mazout, il fut constaté que la consommation de mazout, pour les quatre systèmes de chauffage par rayonnement, était seulement de 65 % de celle des quatre stations équipées d'aérothermes, le premier système donnant de meilleurs résultats. Bien que je ne veuille pas suggérer que tous les systèmes de chauffage par rayonnement procurent une économie de 40 ou même 35 %, il paraît logique

d'affirmer que quelques installations peuvent procurer une économie considérable des déperditions, telle que celle impliquée par les pratiques de la firme anglaise dont j'ai parlé. Et si l'on utilise les résultats obtenus à Philadelphie, et qui paraissent montrer une réelle économie, il semble bien que l'on dépense moins de chaleur pour un même confort dans un bâtiment où l'on utilise des surfaces rayonnantes que dans des bâtiments où l'on utilise des systèmes de chauffage moins efficaces.

Personnellement, je n'hésite jamais à recommander une réduction de 10 à 12 % sur la puissance, si je sais que le système est installé par un ingénieur de valeur et ceci sans contrôler les caractéristiques de l'installation. Dans quelques autres cas, auxquels je me suis personnellement intéressé, je n'ai pas hésité à suggérer une réduction de 15 %, ou parfois un peu plus, si les conditions le permettaient. L'une des raisons pour lesquelles j'hésite à suggérer une réduction plus forte que celles données ci-dessus, et sans examen soigné de toutes les conditions particulières du projet, est que l'on doit se souvenir qu'il y a de nombreux facteurs intervenant dans la méthode de construction, qui peuvent facilement anéantir les économies que pourrait procurer le chauffage par panneaux rayonnants; en outre, sans une marge raisonnable avec des tubes enrobés dans le sol ou le plafond, on se laisse peu de possibilité de fournir une quantité de chaleur suffisante pour une mise en régime rapide. Quelques-unes des méthodes à bon marché utilisées en Amérique pour les panneaux de sol peuvent en outre conduire à des déperditions vers le sol de 25 à 35 % des déperditions totales, et des pertes analogues peuvent être également obtenues avec certaines méthodes de chauffage par le plafond.

Influence des vitrages.

Pour revenir à la question des déperditions de chaleur d'un bâtiment, j'ai soutenu depuis de nombreuses années que la valeur adoptée pour le coefficient K du verre est bien trop forte, et j'ai suggéré dans mon ouvrage *Radiant Heating* que la valeur de 4,6 prise aux U. S. A., est suffisamment élevée lorsqu'on fait des calculs courants de déperditions de chaleur, et j'ai fait cela parce que je savais personnellement que, dans de nombreux cas, les déperditions étaient moindres, en particulier avec les systèmes de chauffage par rayonnement (certains auteurs recommandent même pour les simples vitrages une valeur de 2,5).

Avec un chauffage par rayonnement, les fenêtres sont toujours situées assez loin des surfaces chaudes, et le seul milieu chaud en contact avec le verre est l'air de la pièce, air qui est relativement calme et, en Amérique, à la température normale de 21° C. Le rayonnement des panneaux chauffants et celui qui provient des autres surfaces arrivent sur le verre; une certaine quantité est réfléchiée dans le local et, d'une façon générale, la quantité qui passe à travers le verre est relativement faible du fait que la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, qui peut être de l'ordre de 40° C ⁽¹⁾, est nettement inférieure à ce qui existe souvent avec des radiateurs ou convecteurs alimentés en vapeur.

Avec des corps de chauffe alimentés en vapeur, et même avec des radiateurs à eau chaude, dont l'eau est à 85-95° C,

⁽¹⁾ Note du traducteur. — Il faut rappeler que les installations américaines sont calculées pour des températures intérieures élevées et pour des températures extérieures très basses. La différence de température pour le calcul des installations est souvent beaucoup plus forte qu'en France.

il n'est pas rare que l'air à la partie haute de ces surfaces chauffantes soit à 50-60° C et vienne lécher la surface du verre à cette température. De ce fait, les conditions à la surface du vitrage correspondent à une convection créée par le courant d'air et à une différence de température entre l'air au voisinage du verre et l'air extérieur de 50 à 55° C, compte tenu d'un certain mélange avec l'air frais. Ceci fait au total une différence de l'ordre de plus de 35 %.

Il est, par suite, aisé à comprendre que si la valeur de 5,5 kcal/m²/h/° C est utilisée pour le verre, lorsqu'on fait des calculs de déperditions pour un chauffage par le sol et que la surface relative de verre est considérable par rapport à celle des murs et des plafonds, ceci suffit à réduire les besoins de chaleur aux valeurs normales que j'ai recommandées depuis plusieurs années.

Émission des panneaux.

Il est possible, certes, d'obtenir une émission plus forte des panneaux, si la température du sol est supérieure à 29-30° C, ou si la température radiante moyenne des surfaces non chauffées et la température de l'air sont faibles. Cependant, comme le confort et l'hygiène doivent être notre premier objectif, c'est un désastre pour la profession du chauffage si les principes pour lesquels nous existons sont abandonnés pour obtenir purement et simplement un plus grand rendement d'un type quelconque de chauffage. J'ai essayé ces dernières années d'analyser quelques rapports, dans lesquels étaient signalés des taux élevés d'émission, mais dans la majorité des cas, il y manquait beaucoup de caractéristiques; et il ne m'a pas été possible d'avoir des données suffisantes qui permettent de vérifier les conditions supposées. J'ai noté cependant qu'on insistait toujours et particulièrement sur les valeurs élevées de l'émission plutôt que sur une possibilité de réduction des déperditions du bâtiment.

Avant d'abandonner cette phase de mon étude, je voudrais vous rappeler que, bien qu'on puisse obtenir plus de chaleur lorsqu'une surface est complètement dégagée, et plus encore lorsque l'air est agité sur cette surface, une partie importante du sol est souvent couverte de meubles, bureaux, chaises, etc. D'un autre côté,

si nous considérons un bâtiment, tel qu'une église, dont les bancs et autres meubles sont de construction, de telle sorte que la transmission de chaleur à travers ces éléments peut être appréciable, alors la quantité de chaleur fournie par les bancs peut être prise en compte sans erreur. Toutefois, comme la transmission de chaleur est un problème assez incertain, et que la réduction des surfaces disponibles est souvent mal connue, il est plus sûr de prendre quelque marge dans l'estimation de l'émission, plutôt que de courir le risque de réaliser une installation insuffisante qui ne pourrait être réparée que par des modifications coûteuses.

C'est pourquoi je suggère que, si les ingénieurs de chauffage européens souhaitent apporter quelques modifications à leurs méthodes de chauffage par rayonnement et cherchent à tenir compte des idées américaines, il sera plus sûr de rechercher une estimation correcte des pertes de chaleur et de prendre en compte des facteurs d'émission qui ont donné de bons résultats depuis de nombreuses années, sans fissuration des matériaux du bâtiment, sans détérioration des revêtements textiles et sans réaction biologique dont nous savons peu de choses. Je n'ai par contre aucun motif d'être d'accord avec les très faibles chiffres d'émission. Les valeurs pour lesquelles je remarque depuis longtemps un bon accord avec l'expérience ont été reprises sensiblement par le guide 1951 de l'A. S. H. V. E. Il est pour moi très réconfortant de voir que cette Société a suivi les recommandations que j'ai faites depuis plusieurs années.

V. — Conclusion générale.

Je conseille très sincèrement à tous les ingénieurs et installateurs de chauffage américains de ne pas perdre le souci de la sécurité et de tenir compte de la réaction grandissante contre les sols chauds et les installations inefficaces. De nombreuses personnes en Amérique, y compris des architectes et des ingénieurs, sont encore enclines à ne pas installer le chauffage par rayonnement, et cela parce que trop d'installations inefficaces ont obscurci les idées sur ce type particulier du chauffage. C'est cette conclusion que je souhaiterais laisser à ceux qui écouteront cette conférence, ou en liront le texte.

CONCLUSION DU PRÉSIDENT

Je remercie M. THIN de sa lecture et je félicite à nouveau M. ADLAM de cette conférence qui, vous le voyez, est très intéressante.

ÉTAT ACTUEL DE LA TECHNIQUE ALLEMANDE EN CHAUFFAGE PAR RAYONNEMENT

par A. KOLLMAR.

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

Le programme appelle une conférence de M. l'Ingénieur KOLLMAR, directeur du Bureau de Chauffage et des Machines au Service d'Architecture du Sénat de Berlin. Je suis heureux de le saluer et de lui souhaiter la bienvenue. M. KOLLMAR est en outre co-directeur de la revue Gesundheits Ingenieur, en compagnie du Docteur LIESE, que vous connaissez et qui nous a fait l'honneur de nous exposer, l'an passé, l'état des recherches et des tendances de la technique en chauffage et ventilation en Allemagne.

Tous les techniciens du monde qui lisent l'allemand connaissent le livre remarquable Die Strahlungsheizung de M. KOLLMAR. La première édition datant de 1938 est un des premiers ouvrages fondamentaux sur ce nouveau procédé de chauffage. Le savant et le livre honorent l'Allemagne, et d'une façon plus générale, la technique mondiale du chauffage.

I. — Introduction.

On comprendra certainement qu'au cours d'une conférence je ne puisse guère exposer que des détails; j'espère cependant pouvoir vous donner un certain aperçu général des recherches allemandes. Il n'est pas contestable que la technique du chauffage s'est engagée de plus en plus, ces dernières décades, dans la voie scientifique. Des progrès notables ont été réalisés, par exemple en chauffage à eau chaude, en conditionnement d'air, en « conditionnement par rayonnement » et en chauffage par rayonnement. C'est précisément ce domaine qui incite, ces dernières années, les spécialistes du chauffage de différents pays à des travaux intensifs de recherche qui ont certainement porté leurs fruits. Les résultats seraient encore plus nets si une collaboration technique plus intense pouvait s'élaborer par dessus les frontières, comme cela a lieu ici aujourd'hui. Il n'y a d'ailleurs guère d'autres villes qui soient mieux qualifiées pour cela que l'ancien et éternellement jeune centre culturel européen : Paris.

II. — Physiologie des différents systèmes de chauffage.

Le terme « chauffage d'un local » est, à proprement parler, une forme d'expression qui exprime mal le but recherché, que nous pouvons désigner directement comme l'ambiance de bien-être que l'homme veut obtenir dans le local d'habitation ou de travail, lorsque les températures à l'extérieur sont défavorables. Vous savez que cette ambiance est fixée essentiellement par des températures, à savoir la température de l'air du local et la température radiante moyenne dans le local, cette dernière résultant des températures des diverses parois et des surfaces de chauffe, compte tenu de leurs aires respectives. La moyenne de la température de l'air et de la température radiante donne la température « ressentie » physiologiquement, qui doit être d'environ 20° C.

Une modification des deux termes de l'addition est évidemment possible; mais, dans un local fermé, il y a des limites, car d'une part la température radiante moyenne ne peut être majorée à volonté, et d'autre part

la température de l'air ne peut être fortement réduite si l'on ne veut pas restreindre le libre choix de la position des occupants du local. La température d'air du local est augmentée grâce au flux de chauffage introduit jusqu'à ce que l'état d'équilibre des flux de chauffage et de déperdition soit atteint. Mais dans cet état d'équilibre, l'ambiance doit avoir certaines qualités physiologiques. Dans un local fermé, sans ventilation naturelle, la température de l'air correspond à la température radiante moyenne. Mais la ventilation naturelle qui a lieu constamment, et qui correspond à un réchauffage de l'air, provoque une augmentation de la température radiante, variable selon l'importance de la ventilation naturelle. En chauffage par radiateurs, la différence entre la température de l'air et la température radiante moyenne est moindre qu'en chauffage par le plafond. Ceci est dû à la structure des surfaces chauffées et aux répercussions physiques des phénomènes de transmission de chaleur. Il en résulte que, lorsque la température moyenne des parois et la température de l'air sont approximativement égales, on peut avoir une ambiance confortable. Ceci n'est rien d'autre que l'ambiance d'été où les températures de l'air, des parois et de l'extérieur ont pratiquement la même valeur, et ce pour chaque élément de surface, si petit soit-il. Ce n'est que la chute de la température extérieure qui modifie la température de la surface intérieure de la paroi extérieure, et ce sera alors l'installation de chauffage qui devra y remédier d'une manière ou d'une autre. Le chauffage par radiateurs n'est à même d'y remédier que pour l'ensemble des températures des différentes parois, et non pour chaque élément superficiel de paroi du local. Le chauffage par rayonnement agit mieux, parce qu'il correspond à des surfaces murales chauffées directement et plus étendues, et qu'il rayonne vers les autres parois. Nous pourrions nous rapprocher du cas idéal, si toutes les surfaces étaient légèrement chauffées. Techniquement, ceci peut être réalisé au moyen d'un chauffage électrique des parois, mais évidemment avec des dépenses considérables d'installation auxquelles il faudrait ensuite ajouter le prix élevé du chauffage à l'électricité. Le chauffage par radiateurs, avec les corps de chauffe sous les fenêtres, a un avantage sur le chauffage par le plafond : c'est la protection contre la surface extérieure froide (mur et fenêtre) par la surface chaude. On

sait que, du fait de sa température superficielle plus élevée, le corps humain rayonne vers les surfaces froides. Le radiateur compense ce flux par son rayonnement. C'est pour cette raison que, lorsque les températures extérieures sont très basses, le chauffage par le plafond, appliqué seul, accuse un désavantage physiologique assez net lorsque les occupants se trouvent à proximité de la paroi extérieure. Ils ne seront chauffés par le plafond que d'un seul côté. Dans l'état de bien-être physiologique de l'homme, basé uniquement sur l'émission thermique du corps humain, on peut, en cas de chauffage par convection, caractériser le bilan thermique de l'homme dans le local par l'égalité du métabolisme et de l'émission thermique du corps humain par rayonnement et par convection. On fera abstraction dans ce cas de ce que l'homme se trouve à proximité immédiate d'un corps de chauffe et qu'il reçoit par conséquent, venant de celui-ci, un rayonnement thermique local sensible. Lors d'un chauffage par le plafond, le rayonnement thermique direct produit toujours son effet sur l'homme. Pour cette raison, son émission thermique doit devenir théoriquement plus grande dans le cas où l'émission thermique physiologique (métabolisme) doit être maintenue. Cette dernière correspond donc dans ce cas à une différence de deux quantités thermiques. Ces conditions sont précisées à la figure 12. A gauche, on a les équations de bilan thermique de l'homme dans le local, en fonction du système de chauffage. Q_m est ici la valeur du métabolisme de l'homme en kcal/h, et Q_A l'émission thermique de l'homme en kcal/h sous l'influence des conditions ambiantes du local. A droite, on a les égalités, ou les inégalités, pour les températures d'air du local, la température moyenne de paroi et la température radiante moyenne, tenant compte de la surface chauffante. A titre d'illustration, les équations de température ont été représentées graphiquement. Les différences de températures ne sont pas à l'échelle, mais seulement représentées qualitativement. Elles seraient d'ailleurs différentes selon les installations, par suite des différences géométriques et constructives des locaux, sans cependant modifier le principe. Le chauffage par convection (cas 3) doit être confronté au chauffage par rayonnement (cas 4).

Les variations de température de l'air du local et de température des parois peuvent y être facilement remarquées. La figure 12 est plus révélatrice encore quand on examine le problème du chauffage par air chaud (cas 2) et celui du chauffage par rayonnement réfléchi (cas 5).

FIG. 12. — Températures dans un local chauffé par différents systèmes de chauffage.

Bilan thermique	N°	Système de chauffage	Température de l'air δ_a	Température de paroi δ_p	Température radiante δ_r	Inégalités
$-q_h = -q_p$	1	Sans chauffage cas d'été				$\delta_a = \delta_p = \delta_r$
	2	chauffage par air chaud				$\delta_a > \delta_p = \delta_r$
	3	chauffage par convection				$\delta_a > \delta_p < \delta_r$
$-q_h = q_r - q_p$	4	chauffage par rayonnement				$\delta_a < \delta_p < \delta_r$
	5	chauffage par rayonnement réfléchi				$\delta_a \approx \delta_p < \delta_r$

Pour le cas 5, la colonne de température relative au cas 2 s'est déplacée de gauche à droite et l'autre de droite à gauche. Un changement proprement dit des températures, tel que cela peut être observé aux cas 3 et 4, ne s'y retrouve pas. L'exploitation de ce phénomène conduit à la conclusion que le chauffage par rayonnement réfléchi, de même que le chauffage par air chaud, sont des méthodes de chauffage à peu près exemptes d'inertie calorifique.

III. — Inertie thermique des différents systèmes de chauffage.

Le rendement économique d'une installation de chauffage dépend, dans une large mesure, de l'inertie calorifique propre au système de chauffage, y compris ce qui se passe pendant la mise en température, jusqu'à ce que les conditions d'ambiance du local aient atteint un niveau confortable. Il va sans dire qu'on s'abstiendra pour cette raison de recourir, quand il s'agit de locaux utilisés seulement pendant une période restreinte, à un système de chauffage désavantageux par ses caractéristiques de mise en température. Étant donné que le chauffage de pièces, comme nous l'avons déjà dit, n'est qu'un moyen pour atteindre un but et que l'homme en est le seul objet, il en résulte que le maintien du chauffage n'est nécessaire que pendant qu'on y séjourne. Toutefois, il faudrait en ce cas que le chauffage devienne immédiatement et pleinement efficace du point de vue physiologique. Le chauffage électrique physio-solaire offre cette possibilité, mais les frais de premier établissement en sont actuellement encore considérables et les frais de courant ne pourraient être justifiés que s'il était possible de réaliser une réduction du prix de chauffage électrique en proportion de celui du chauffage au charbon; pour ce dernier, il y aurait toutefois lieu de tenir compte du surcroît de dépenses dû à l'inertie calorifique propre au système de chauffage. La réduction de l'inertie calorifique d'une installation de chauffage offre donc déjà en elle seule la possibilité de faire des économies en charbon, lesquelles seront d'autant plus remarquables que la proportion de rayonnement des surfaces chauffantes est plus considérable, notamment si le rayonnement s'exerce sur l'homme. Ce rayonnement s'opère d'une manière directe en adoptant le chauffage par plaques rayonnantes, et indirectement par des parois en ayant recours au système de chauffage par rayonnement réfléchi, étant donné que les vêtements et l'épiderme de l'homme sont très absorbants. L'inertie calorifique d'une installation de chauffage est influencée d'une façon prépondérante par le produit du poids de l'eau par la chaleur spécifique. Il y a lieu en outre de tenir compte de la température moyenne de l'eau de chauffage par rapport à la température extérieure. En ce qui concerne par exemple le chauffage par radiateurs, le chauffage Stramax et le chauffage ordinaire par le plafond, les valeurs respectives de ce produit s'élèvent à environ 20, 50 à 60, et 250 à 450 kcal/°C, compte tenu de l'eau, des tubes et des matériaux de construction du plafond. En admettant une température extérieure de 0° C, l'accumulation de chaleur atteint, pour un débit de chaleur de 1 000 kcal/h : 750, 550 et 1 200 à 2 200 kcal et, avec une température extérieure de -15°C : 1 200, 1 200 à 1 400, et 2 200 à 4 000 kcal. On comprend dès lors l'influence qu'exercent les températures des surfaces de chauffe, selon la valeur des températures extérieures. Sur la figure 13, nous avons reproduit les résultats pour des valeurs moyennes de température d'hiver. Ces valeurs numériques ne peuvent naturellement être que des valeurs-indice, étant donné qu'il y a des écarts obligatoires dus à l'aménagement technique de l'installation de chauffage ou aux dimensions des radiateurs, à l'exécution des plafonds, ou à d'autres causes. Cet état de choses a été symbolisé à

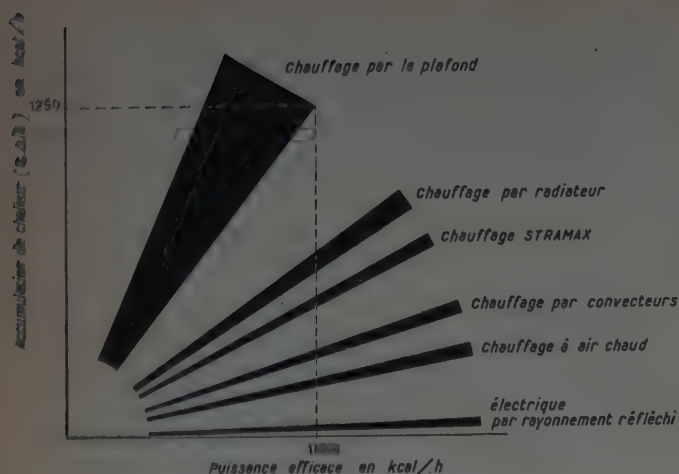


FIG. 13. — Diagramme d'inertie thermique des divers systèmes de chauffage à eau chaude.

L'aide de secteurs noirs figure 13. Les systèmes de chauffage sont supposés à eau chaude, à l'exception du chauffage par rayonnement réfléchi, lequel est supposé être équipé de tubes « Backer » à chauffage électrique, et rayonnement réfléchi par les corniches.

IV. — Coefficients de rayonnement et facteurs de forme.

La loi du rayonnement établie par STEFAN-BOLTZMANN permet simplement de déterminer l'intensité du rayonnement émis par une surface chauffante en fonction de la température. Il y a lieu en outre de tenir compte de la loi du cosinus de Lambert et de la loi d'action de la distance; il convient de ne pas négliger leur influence dans les calculs de rayonnement. On a recours à cet effet au facteur de forme ϕ . Ce facteur de forme joue un rôle prépondérant en matière de rayonnement réciproque de deux surfaces placées de manière quelconque dans un local. L'étude expérimentale de l'émission et de l'absorption des matériaux de construction conduit à la loi de Kirchhoff, qui est toujours valable, et qui s'incorpore dans l'équation générale de transmission de chaleur par rayonnement. La détermination du facteur de forme est une question mathématique dont la solution n'est pas facile. Le procédé géométrique, qui est également possible, n'offre de facilité que quand il s'agit de problèmes peu compliqués. Certains problèmes peuvent également être résolus par voie optique à l'aide des effets d'ombre résultant de la radiation lumineuse.

Le peu d'importance accordée jusqu'à présent en matière de technique de chauffage au coefficient ϕ est à attribuer au fait qu'en pratique le facteur $\phi = 1$ peut servir de base pour déterminer le rayonnement émis par un corps de chauffe ou une tuyauterie lorsqu'on considère l'émission thermique par rapport à l'ensemble du local. Du point de vue strictement mathématique, ce qui vient d'être démontré n'est, à vrai dire, valable que pour la sphère et une boule creuse entourant celle-ci d'une manière concentrique. C'est valable également pour le cylindre entouré d'un cylindre creux de longueur infinie, et pour deux plaques parallèles de dimensions infinies. Le coefficient $\phi = 1$ est admissible pour le calcul pratique des rayonnements au cas où les dimensions superficielles de celles-ci

ne sont pas trop faibles et où leur distance est limitée. Si nous nous restreignons dans nos considérations théoriques en matière de rayonnement thermique aux conditions telles que la technique de chauffage de nos habitations nous les offre, nous constaterons qu'il s'agit presque généralement de parois et surfaces de chauffe placées l'une en face de l'autre, soit parallèlement, soit perpendiculairement, en particulier en ce qui concerne le chauffage par le plafond.

Si l'on se propose de déterminer la quantité de chaleur émise par rayonnement d'un corps de chauffe ou d'un panneau de plafond vers une partie de paroi — mur extérieur, fenêtre ou plancher — on ne peut plus se passer de déterminer le facteur de forme. L'échange de rayonnement entre une surface rectangulaire et un élément différentiel de surface parallèle ou perpendiculaire est relativement facile à calculer et les solutions sont connues depuis longtemps. De même en ce qui concerne deux surfaces rectangulaires parallèles de grandeur identique et deux surfaces rectangulaires dont l'une est perpendiculaire à l'autre, les solutions étant obtenues en faisant l'intégration du rayonnement entre éléments de surface. Outre ces deux problèmes fondamentaux, il a été démontré qu'il était nécessaire du point de vue du rayonnement dans les locaux d'habitations, de pouvoir établir des calculs correspondant à différents problèmes spéciaux. C'est la tâche que je me suis proposée. Sur la figure 14, vous voyez en haut à gauche le graphique 1 représentant le problème fondamental, relatif au rayonnement réciproque de deux surfaces rectangulaires parallèles de dimensions identiques. Les autres schémas correspondent à quelques conditions qui ont pu être calculées à l'aide des équations de base. Dans les schémas 2 à 6, il a été procédé à la confrontation d'une surface entière de mur avec une surface partielle, tandis qu'il ne s'agit, en ce qui concerne les graphiques 7 à 12, que de surfaces partielles et d'une surface entière de mur. La figure 15 donne un tableau analogue pour le cas où il s'agit de surfaces rectangulaires dans des plans perpendiculaires. Les cas particuliers pourraient être multipliés à volonté. Par des opérations d'addition, ou de soustraction, il est toujours possible de déterminer le facteur de forme correspondant au cas spécial considéré. Connaissant le facteur de forme, le calcul de la répartition de l'intensité du rayonnement d'une surface de chauffe au plafond vers les diverses parois n'est qu'une simple opération d'arithmétique. Compte tenu de la transmission de chaleur du mur respectif, de la température de surface murale intérieure et de la température de l'air extérieur, la détermination des températures moyennes de parois n'est pas difficile du point de vue mathématique, mais le calcul complet est laborieux. Dans la revue *Gesundheits-Ingenieur*, année 1949, fascicules 1 et 2, nous l'avons réalisé pour un cas pratique. Compte tenu du rayonnement des éléments superficiels, il est en outre possible de déterminer la chute de température des différentes parois. La figure 16 montre la répartition du rayonnement dans un local cubique lorsque la moitié du plafond est aménagée comme surface chauffante. La répartition sur la surface du plancher est schématisée dans la figure de droite. La figure 17 représente un cas analogue. En tournant de 90° à gauche le local cubique, il représente le rayonnement vers les autres parois d'un radiateur placé le long d'un mur. Les différentes températures superficielles déterminées à l'aide des facteurs de forme, il est possible de calculer sans difficulté la chaleur rayonnante émise par les occupants vers les diverses parois. En ce cas, il suffit de représenter la surface d'un côté du corps humain par un rectangle, ayant par exemple 0,5 m de large et 1,8 m de haut; pour ce rectangle, il y a alors lieu de déterminer les facteurs de forme d'après l'un des cas mentionnés ci-dessus. La

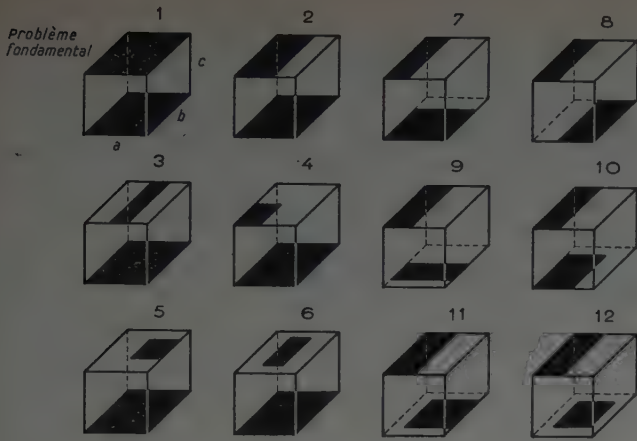


FIG. 14. — Conditions d'échanges entre des surfaces parallèles diverses.

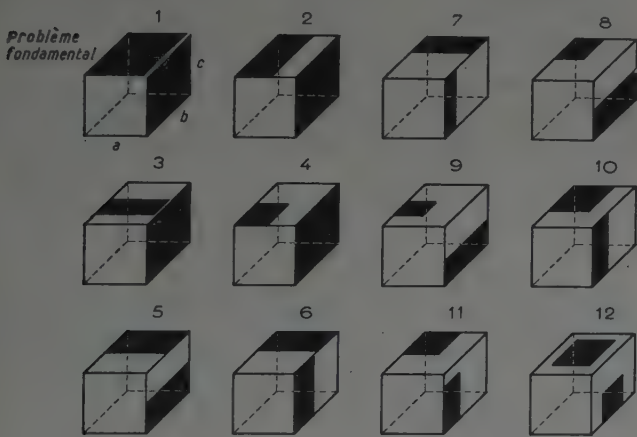


FIG. 15. — Conditions d'échanges entre des surfaces perpendiculaires diverses.

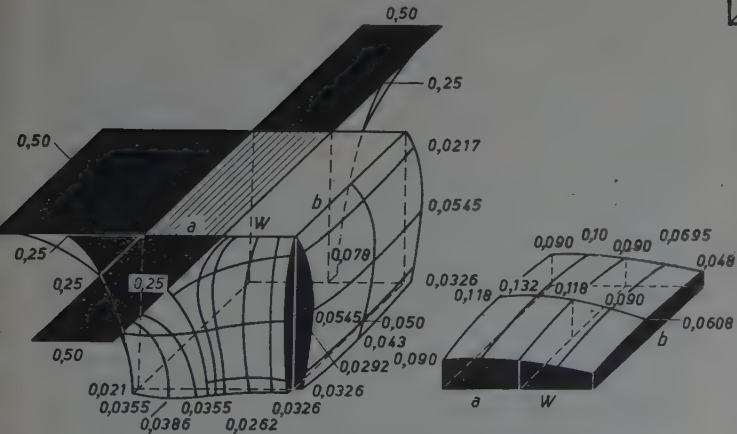


FIG. 16. — Répartition du rayonnement, dans le cas d'un plafond à demi-chauffé, sur les différentes parois.

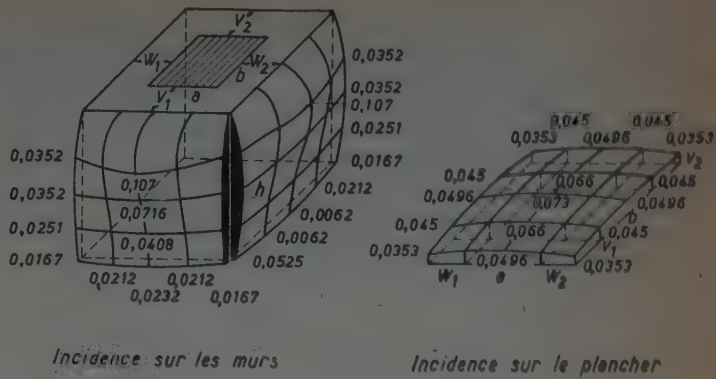


FIG. 17. — Répartition du rayonnement dans le cas d'un plafond en partie chauffé sur les différentes parois.

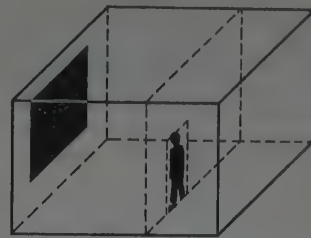


FIG. 18. — Schéma de rayonnement d'un individu vers une fenêtre.

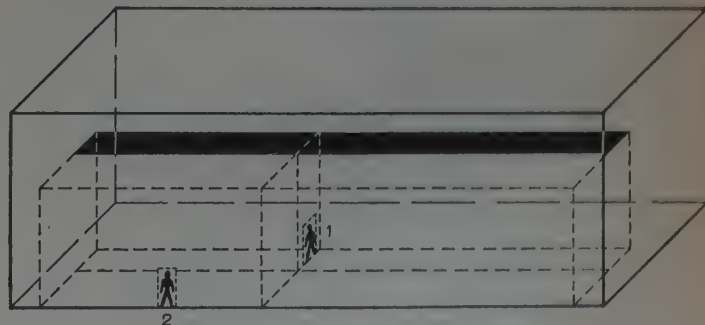


FIG. 19. — Schéma de rayonnement d'une bande de panneaux vers un individu.

figure 18 représente graphiquement le phénomène de l'émission thermique humaine vers une fenêtre. On procède de même quand on cherche à déterminer le rayonnement d'une bande de surface chauffante dans un hall d'usine vers un homme placé en-dessous (fig. 19). Le calcul du rayonnement reçu par un individu dans la position 1 de la figure 19, partant de deux bandes chauffantes juxtaposées de 1 m de large et 40 m de long chacune, placées à une hauteur de 5 m et ayant une température moyenne superficielle de 70° C, donne 20 kcal/h. Le métabolisme de l'homme étant de 126 kcal/h à une température du local de 12° C se trouve donc réduit, à l'endroit mentionné, à 106 kcal/h, c'est-à-dire que son état de bien-être correspond à celui observé à une température d'environ 18° C. On a certes choisi l'endroit le plus favo-

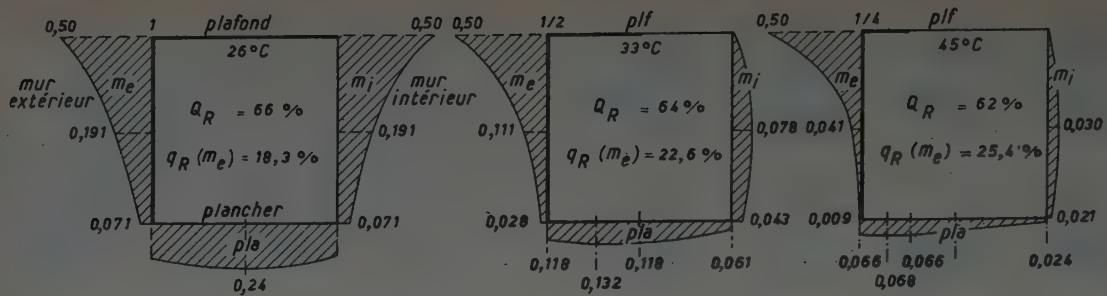


FIG. 20. — Variations du rayonnement en fonction de la surface chauffante du plafond.

Coupe au milieu du local.

Les courbes latérales représentent les variations des facteurs de forme locaux.

nable, mais toujours est-il que l'on conçoit l'avantage physiologique d'une telle installation de chauffage par rayonnement, que l'on pourrait qualifier de chauffage localisé. Dans un local plus spacieux, un atelier de montage par exemple, on peut aménager beaucoup plus favorablement les postes de travail attenants à la chaîne de montage qu'on ne le peut avec l'air. L'avantage qui en résulte pour ce qui concerne la consommation de combustible se comprend aisément.

L'intensité d'un rayonnement thermique ne dépend pas seulement du facteur de forme, mais aussi de la température de la surface chauffante. L'émission de chaleur rayonnante d'un plafond entier à une température de surface chauffante de 26° C peut, par exemple, être obtenue par la moitié du plafond chauffé à 33° C, ou le quart à 45° C. En tenant compte des facteurs de forme, il en résulte les conditions reproduites à la figure 20. Le troisième schéma, à droite, fait ressortir que, dans le cas du plafond chauffé seulement sur un quart de sa surface, la paroi extérieure reçoit une portion nettement plus considérable de chaleur rayonnante. Il se produit donc une meilleure protection contre la paroi extérieure, ce qui a des répercussions physiologiques favorables. A cette fin, il convient donc — comme il ressort de la figure 20 — d'aménager la surface chauffante du plafond à proximité de la paroi extérieure. Mais il y a des limites physiologiques à cette façon d'aménager la surface chauffante du plafond. Il convient de tenir compte de l'intensité thermique spécifique qui ne doit pas dépasser la valeur de 0,008 kcal/h/cm² pour la tête. Lorsque le local a 3 m ou 3,5 m de haut, la température de la surface chauffante peut en ce cas être de 35° C environ. L'homme disposant d'un certain pouvoir thermique physiologique régulateur, on peut — afin de pouvoir couvrir les besoins thermiques et en vue de réduire les frais d'établissement — porter à 40° C environ la température de la surface chauffante, cette température n'étant nécessaire que pendant les journées froides peu nombreuses. A l'aide des facteurs de forme, il est possible de déterminer, pour chaque hauteur, la température physiologiquement admissible de la surface chauffante du plafond. Dans la revue *Gesundheits-Ingenieur*, année 1949, fascicules 7 et 8, vous trouverez les calculs physiologiques tant pour le bilan thermique humain total que pour la charge thermique spécifique, de même que se trouve indiquée l'équation relative à la détermination de la température physiologiquement admissible de la surface chauffante du plafond en fonction de la hauteur de salle. Il serait naturellement possible de continuer encore les réflexions relatives aux facteurs de forme; j'espère cependant vous en avoir donné un aperçu au cours de cette conférence.

V. — Calcul pratique.

Afin de pouvoir exécuter ses installations de chauffage, l'ingénieur spécialisé en cette matière réclame des méthodes de calcul simples, lui permettant l'emploi de tableaux et d'abaques. Cette exigence s'explique par des considérations d'ordre économique, mais les phénomènes physiques — notamment en matière de transmission de chaleur — ne suivent pas toujours des lois simples, tout au moins au début d'une évolution technique dont on ne peut pas encore apprécier avec sûreté toutes les conséquences. En chauffage par le plafond, la position des tubes dans le béton ou l'enduit paraît assez simple, mais l'étude de la transmission de chaleur dans le plafond ne confirme pas cette apparence. Quand on procède exactement du point de vue physique, on aboutit à des méthodes de calcul compliquées par suite des conditions aux limites, et ces méthodes peuvent même être rendues impossibles dans certains cas, par la construction particulière d'un plafond chauffant. Il s'agit en effet non seulement de déterminer mathématiquement ou expérimentalement la répartition de température d'un simple plafond en béton, mais également de pouvoir déterminer, rapidement et avec l'exactitude requise, l'émission thermique de toute construction de plafond vers le bas et vers le haut, en fonction du diamètre et de l'écartement des tubes. En 1937, KALOUS a appliqué la théorie de la transmission de chaleur dans une barre chauffée à une extrémité à la transmission de chaleur dans un plafond, en considérant la « plaque » de chauffe comme une barre. Le calcul mathématique est correct, mais les hypothèses physiques laissent à désirer. Depuis lors, des améliorations ont été apportées qui, sans parvenir à utiliser des principes physiques aussi valables que les principes mathématiques, tiennent compte en revanche dans une large mesure des nécessités techniques. En outre, il importe de ne pas oublier que les données de construction ne permettent d'atteindre qu'approximativement les propriétés physiques des matériaux de construction prises pour base, propriétés résultant de la qualité et de la transformation de ceux-ci ainsi que d'influences atmosphériques. De plus, il faut s'attendre à ce que des écarts de dimension se produisent plus ou moins par suite de la grossièreté des techniques de construction. Il n'est donc même pas indiqué de vouloir procéder exactement du point de vue physique. Comme la pratique de nombre d'installations réalisées l'a démontré, on parvient à l'aide du principe de variation hyperbolique de température à un procédé de calcul répondant aux exigences. En modifiant légèrement les températures de l'eau de chauffage, on a de plus la possibilité de compenser les inexactitudes. Le calcul

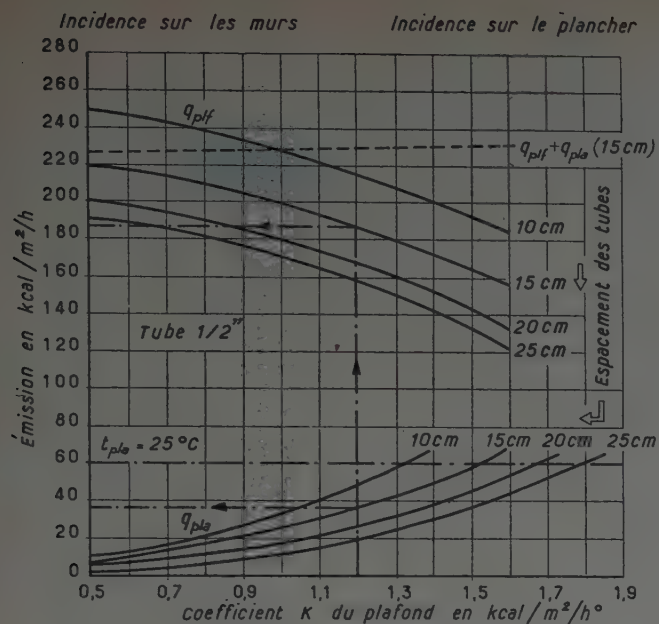


FIG. 21. — Émission de la surface chauffante du plafond q_{plf} en kcal/m²/h et du plancher q_{pla} situé au-dessus avec tubes d'un demi-pouce, différents espacements de tube l et différents coefficients de transmission du plafond k_{plf} .

Température supérieure et inférieure de l'air dans le local : 18°C .

s'opère grâce aux abaques des figures 21, 22 et 23. Avec trois tableaux de courbes, on peut par conséquent calculer un chauffage par le plafond avec des tubes de chauffage d'un demi-pouce en ce qui concerne l'émission en fonction du coefficient de transmission de chaleur entre le plafond et un espace supposé entre les tubes. La figure 21 montre l'allure de la courbe d'émission thermique du plafond et du plancher. En abscisses, on a le coefficient de transmission de chaleur ; en ordonnées, on lit l'émission. L'émission du plancher est limitée à $60\text{ kcal/m}^2/\text{h}$, soit une température de sol de 25°C , limite qu'on ne doit pas dépasser.

A l'émission normale du plafond, on doit ajouter une émission marginale, car il se produit une diffusion latérale de chaleur qui dépend de la longueur et de la largeur du panneau. La figure 22 donne l'allure de l'émission marginale. Son utilisation est simple et évidente. Si l'on a par exemple, d'après la figure 21, une émission normale du plafond de $180\text{ kcal/m}^2/\text{h}$, une émission de $17\text{ kcal/m}^2/\text{h}$ serait à ajouter aux $180\text{ kcal/m}^2/\text{h}$ lors de l'exécution d'un panneau plat de $1,75\text{ m}$ de largeur et 4 m de longueur. La figure 23 permet de déterminer, au moyen du besoin de chaleur calculé pour le chauffage du local, et avec l'émission du plafond — extraite de la figure 21 — la valeur de la surface chauffante de plafond nécessaire, ainsi que la température moyenne de la surface chauffante. Cette figure est applicable également pour l'émission du plancher. Les dimensions de la surface chauffante du plafond permettent de déterminer la température moyenne physiologiquement admissible de la surface du plafond t_m en liaison avec le facteur de forme (fig. 24). La température moyenne de la surface du plafond physiologiquement admissible dépend des dimensions de la surface chauffante et de la hauteur du local. Pour des raisons physiologiques, le flux sur la tête ne doit pas dépasser celui du corps humain, ce qui se produirait si le rayonnement sur la

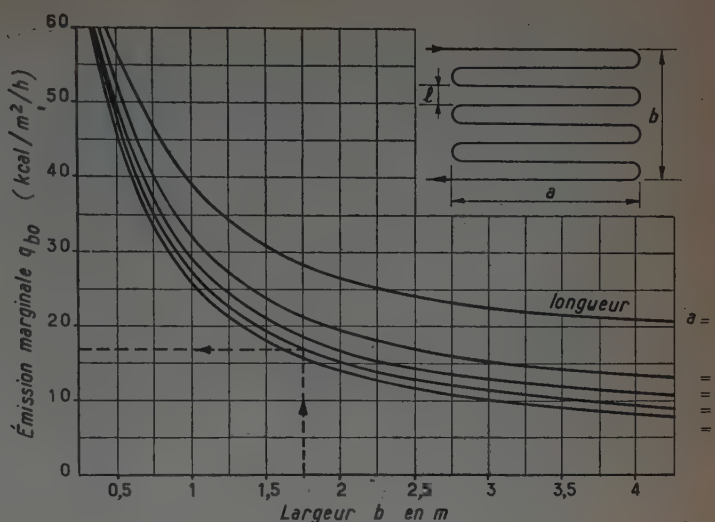


FIG. 22. — Émission marginale q_{bo} en kcal/m²/h en fonction de la longueur a et de la largeur b en mètres du panneau.

tête devenait trop intense du fait d'une température de plafond trop élevée.

Le chauffage par le plafond peut donc être ainsi calculé, en ce qui concerne son émission. Pour conclure, nous voudrions mentionner le calcul des panneaux suspendus. Dans ce calcul, l'application du principe de variation hyperbolique de la température dans la plaque de tôle est physiquement plus adéquate que dans le chauffage par le plafond, dans la mesure où la transmission de

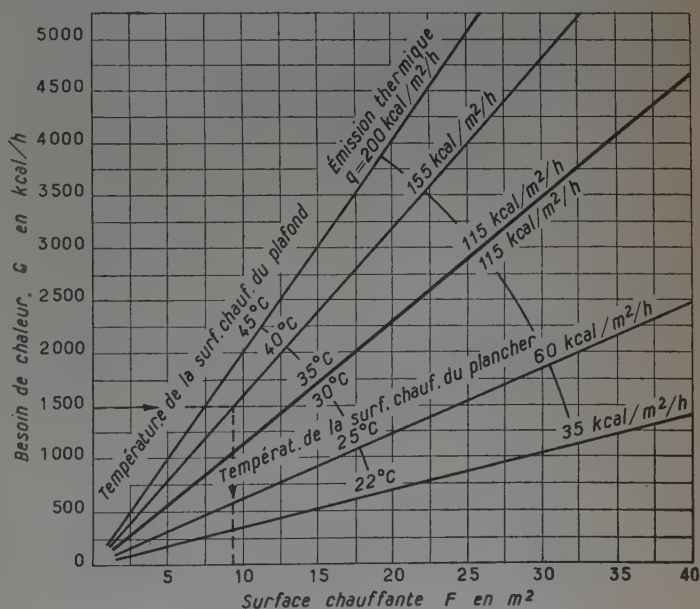


FIG. 23. — Abaque de calcul de la surface chauffante F en mètres carrés pour le besoin de chaleur Q en kcal/h en fonction de la température de la surface chauffante t en $^\circ\text{C}$ ou de l'émission thermique q du plafond en kcal/m²/h (flux marginal non compris).

Température de l'air du local : 18°C .

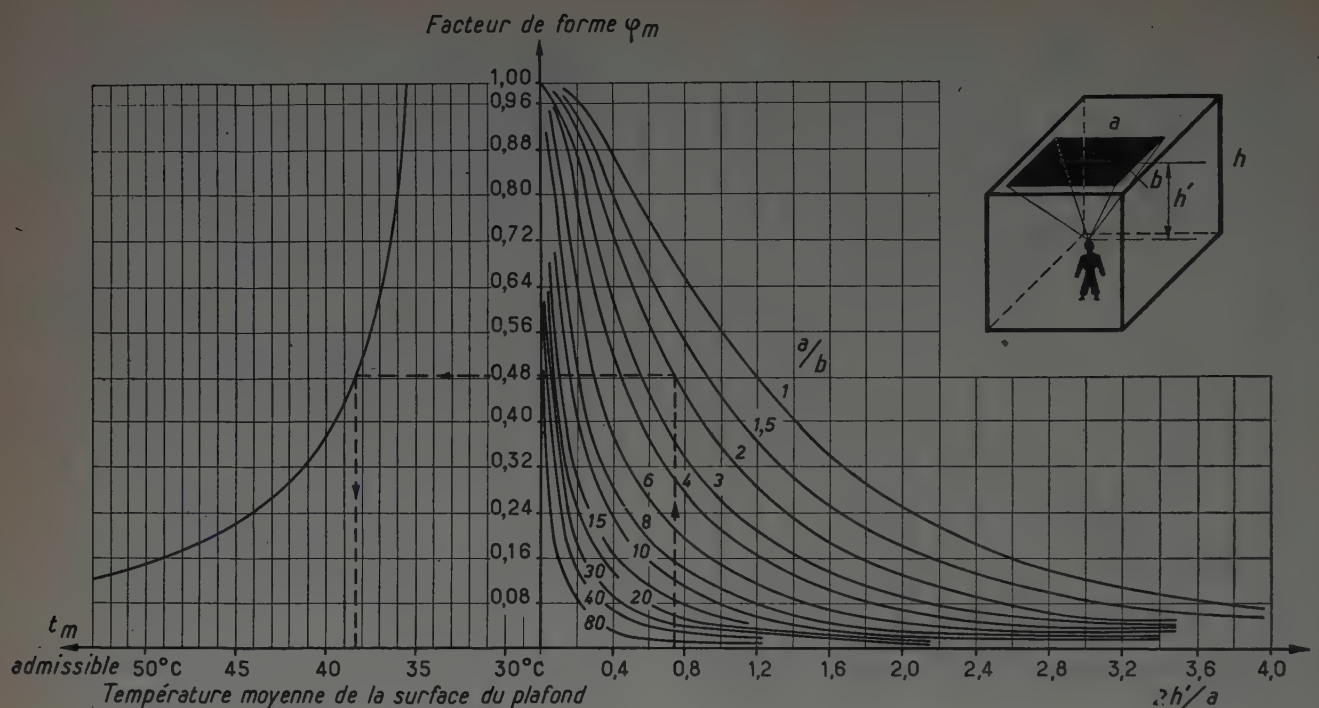


FIG. 24. — Abaque de calcul de la température superficielle moyenne (physiologique) du plafond t_m pour les dimensions a et b du panneau rayonnant.

chaleur du tube à la tôle rayonnante est réellement assurée. Le mode de calcul relativement simple et l'application pratique sont contenus dans le fascicule 3 de cette année du périodique *Heizung, Lüftung, Haustechnik*. On peut dire que les bandes de panneaux usuelles sont analogues — du point de vue de l'émission — aux tubes lisses, c'est-à-dire qu'il n'y a — par rapport à la surface de chauffe du tube — aucune augmentation spécifique appré-

ciable de l'émission. L'avantage consiste, comme il a déjà été dit, dans l'efficacité du rayonnement qui atteint directement les occupants, ce qui fait que ce genre de chauffage par rayonnement peut, dans le cas d'une disposition adéquate des panneaux, se montrer économiquement supérieur — du point de vue consommation de combustible — aux chauffages par convection utilisés jusqu'à présent.

CONCLUSION DU PRÉSIDENT

Je félicite M. KOLLMAR et je le remercie de l'effort qu'il a fait pour prononcer sa conférence dans une langue qui ne lui est pas familière; il nous a tous beaucoup intéressés.

ÉTAT ACTUEL DE LA TECHNIQUE ITALIENNE EN CHAUFFAGE PAR RAYONNEMENT

par Aldo GINI.

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

Je n'ai à présenter M. GINI qu'aux jeunes techniciens et aux personnes qui ne suivaient pas assidûment les congrès d'avant-guerre, présidés si brillamment par mon ami le Professeur VERON. Car M. GINI et M. SQUASSI étaient des participants fidèles des différents congrès internationaux.

D'abord assistant de physique technique à l'École Supérieure des Ingénieurs de Bologne, M. GINI a été ensuite constructeur et installateur en chauffage et ventilation. En 1938, il est devenu ingénieur-conseil et s'est spécialisé dans le chauffage par rayonnement. Ainsi que vous pourrez le constater par sa très remarquable communication, il a beaucoup approfondi les échanges thermiques dans ce domaine et ses méthodes de calcul sont utilisées dans de nombreux pays.

Je suis très heureux de saluer en lui l'École italienne qui ne recule pas devant l'étude de l'aspect mathématique de ces problèmes de physique. Si M. GINI était français, vous pourriez, après avoir entendu sa conférence, l'accuser d'être polytechnicien ! C'est vous dire la part qui est faite au calcul dans sa communication.

I. — Introduction.

J'ai axé mon exposé sur les réalisations récentes dans lesquelles le chauffage des locaux s'effectue au moyen de grandes surfaces qui constituent, dans la majeure partie des cas, les parois de ces locaux.

Je crois pouvoir affirmer que le développement de ce système en Italie a eu lieu d'une façon assez indépendante de ce qui s'est produit dans les autres pays, et de ce fait il peut arriver que des idées développées également par d'autres techniciens se soient présentées chez nous sous forme originale.

Je crois d'ailleurs interpréter l'esprit dans lequel l'invitation à cette conférence m'a été faite, en ne me préoccupant pas des sources des idées, mais en exposant objectivement l'état du chauffage par rayonnement en Italie, en illustrant ainsi ses origines.

II. — Caractéristiques principales du chauffage par rayonnement en Italie.

Principes généraux.

Si l'on néglige les quelques applications qui ont été faites d'une manière presque accidentelle dans différents pays, on peut affirmer que l'intérêt des techniciens italiens a été attiré sur ce mode de chauffage, au cours des années 1928-1929, par les applications faites à l'étranger du système à tubes enrobés d'après les brevets de M. BARKER, exploités par la Société Crittall.

Les premières applications du système en Italie ne manquèrent pas de soulever des discussions parfois acharnées.

Dans plusieurs articles, publiés de 1931 à 1936 dans les revues techniques italiennes, les points suivants ont été mis en évidence :

1° Si on admet une température uniforme dans une pièce normale et si on la chauffe par une paroi sans déperditions, si on suppose qu'il n'y a aucun renouvellement d'air et que l'air est calme, on a des déperditions plus petites en chauffage par convection, pour une température résultante sèche donnée, et la différence augmente si l'air est en mouvement.

2° Dès qu'on admet dans les locaux des renouvellements d'air normaux de 1/2 vol/h, les quantités de chaleur nécessaires peuvent être considérées comme équivalentes dans les différents systèmes, en air tranquille.

3° L'effet du rayonnement direct n'est pas en général très sensible, et il est souhaitable qu'il ne le soit pas.

Dans ces conditions, et en négligeant les déperditions directes des panneaux vers l'extérieur, on a obtenu les principes suivants :

a) D'éventuelles économies de chaleur dans les systèmes par rayonnement sont à attribuer à l'effet de chauffage direct et dépendent par conséquent de la distribution des surfaces chauffantes.

b) Le calcul des déperditions peut s'effectuer de manière normale au lieu du système proposé par M. BARKER, consistant à évaluer la température des parois et à établir avec les panneaux une certaine température radiante moyenne.

c) En augmentant le taux de renouvellement d'air, les conditions d'exploitation deviennent plus favorables au chauffage par rayonnement.

d) Par l'action d'écrans, chauffants ou non, placés contre les parois de déperditions, on peut améliorer le rendement du système par rayonnement par rapport au chauffage par convection.

Les constatations faites ultérieurement sur des installations ont confirmé ces principes et mis en évidence d'autres principes importants que nous allons maintenant énumérer :

e) La différence entre la température de l'air et la température résultante sèche d'une pièce chauffée (si on suppose le renouvellement d'air nul, ou si l'air de renouvellement est chauffé par un moyen indépendant) dépend avant tout de la différence entre le coefficient de convection des surfaces chauffantes et le coefficient de convection des parois non chauffantes du local, la valeur de cette différence de température étant toujours positive, sauf dans les locaux chauffés par le plafond.

f) Si on considère comme exact le calcul des déperditions généralement employé pour les systèmes par convection pour obtenir une certaine température de l'air, et si on veut obtenir la même valeur de température résultante, il faut augmenter la puissance proportionnellement à la déperdition spécifique du local, c'est-à-dire à la valeur :

$$(1) \quad \frac{Q}{\Delta t \cdot S}$$

où

Q représente les déperditions calculées;
 Δt la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur;
 S la surface des parois du local.

g) La différence entre la température de l'air et la température résultante sèche, déterminée sur les bases précédentes, peut être modifiée par suite des hautes températures au voisinage du plafond, provoquant une perte de chaleur plus grande.

Au point de vue des effets pratiques du chauffage par panneaux :

a) Il faut étudier la diffusion de la chaleur dans les structures, diffusion qui doit être exploitée d'une façon rationnelle si l'on veut obtenir les résultats les plus économiques et les plus satisfaisants; la diffusion de la chaleur dans les structures dépend évidemment de la nature même de ces structures, et elle joue un rôle beaucoup plus important qu'on ne le pensait au début; de là dérive la nécessité de déterminer les valeurs de cette diffusion de chaleur à travers les différents types de planchers à corps creux qui sont les plus employés en Italie.

b) Il faut tenir compte du gradient de température en hauteur; on donne pour cela dans des pièces de grande hauteur des règles approchées. On peut faire de même pour le chauffage par panneaux en général, et en particulier pour le chauffage par le plafond. Le cas général étant assez complexe, on a considéré seulement le cas du chauffage par le plafond, par le sol et mixte (plafond + sol), en tenant compte des paramètres suivants :

- La hauteur h du local;
- Le rapport $\frac{h}{d}$ de la hauteur h du local à la distance d entre panneaux et parois;
- Les calories totales Q , cédées au local par le panneau au plafond;
- Les calories Q_p de déperdition du plancher et de renouvellement d'air, si elles doivent être fournies par les panneaux (ces calories peuvent être négatives en cas de chauffage mixte par le plafond et par le sol, ou en cas de chauffage par le sol);
- Les dimensions a' et b' du panneau.

La formule empirique à laquelle nous sommes parvenus et qui donne l'amélioration de l'efficacité vis-à-vis des

installations normales, est la suivante :

$$(2) \quad \frac{1,04 - 0,0625 \left(1 - e^{-0,025 \frac{h}{d}}\right) h \left(1 + \frac{Q_p}{Q}\right) \frac{a' + b'}{a' - b'}}{0,94 \left[0,92 + 0,033 \left(1 + \frac{Q_p}{Q}\right) \left(1 - e^{-0,025 \frac{h}{d}}\right)^{0,25}\right]}$$

Avec un chauffage par le sol, la valeur de cette expression est de 1,20.

Cette formule a été confirmée par des résultats pratiques et son application a été facilitée par des diagrammes.

c) Dans le cas d'un chauffage mixte par le sol et par le plafond, il y a lieu de considérer aussi l'effet du rayonnement réciproque qui peut parfois ne pas être négligeable, mais c'est un cas assez rare et nous n'exposerons pas les formules qui ont été données pour ce cas.

d) Une amélioration supplémentaire peut être obtenue si on chauffe avec des surfaces rayonnantes détachées des parois, et qui agissent comme écrans en étant calorifugées vers ces dernières. La formule empirique simplifiée, à laquelle nous sommes parvenus pour des plaques rayonnantes suspendues, est la suivante :

$$(3) \quad \frac{C'}{C' + C''} \frac{s(\varphi t - t_0) - \frac{C_1}{\sigma_r} \frac{\varphi t - t_s}{t_0}}{4t_0} - 0,04$$

qui donne, par rapport à une installation de chauffage par convection à température uniforme et pour une température résultante sèche donnée, l'économie de chaleur que l'on peut atteindre sans tenir compte du renouvellement d'air et de « l'heating effect ».

Dans l'expression (3) :

C' est la chaleur émise par le panneau vers le bas;
 C'' est la chaleur émise par le panneau vers le haut;
 C_1 représente les déperditions par le sol;
 s est la surface du panneau rapportée à 1 m² de plancher;
 t est la température inférieure du panneau;
 t_s est la température de la surface inférieure du plafond;
 t_0 est la température résultante sèche du local;
 σ_r est le coefficient de rayonnement des parois à la température normale;
 φ est un coefficient tenant compte de l'augmentation du coefficient de rayonnement des panneaux due à leur température plus élevée.

La formule est valable pour des valeurs positives du premier terme pour 1 m² de surface de sol et dans l'hypothèse d'un local infiniment étendu dans le sens horizontal.

Dans le cas de locaux à dimensions finies, il faut apporter des corrections pour tenir compte de l'influence des parois, et l'amélioration due au chauffage par rayonnement est alors évidemment plus faible que celle qui dérive de la formule (3).

Une économie supplémentaire peut être réalisée sur le renouvellement d'air; si on suppose que le chauffage de l'air s'effectue par un moyen indépendant, cette économie dépend de l'intensité du renouvellement et de la différence entre la température de l'air t'_a dans le cas du chauffage par convection et t_a dans le cas du chauffage par panneaux.

La formule à laquelle nous sommes parvenus est la suivante :

$$4) \quad t'_a - t_a = \frac{C' + C''}{18} + \frac{\theta + t_s + s(\varphi t - t_s)}{2} - t_0$$

dans laquelle θ est la température du sol, les autres lettres ayant les significations précédemment fournies.

Les résultats des formules (3) et (4) ont été vérifiés par le calcul détaillé dans de nombreux cas et nous avons constaté qu'ils donnaient une approximation suffisante.

Pour rendre possible l'emploi pratique des formules (3) et (4), il faut apprécier les valeurs de θ et de t_p dans le cas du chauffage par rayonnement et du chauffage par convection; or, les différences entre les sommes $\theta + t_p$ dans l'un et l'autre systèmes sont en général négligeables, ce qui simplifie beaucoup l'emploi de la formule (4).

Du point de vue physiologique et en ce qui concerne le chauffage par rayonnement, les conclusions auxquelles nous sommes parvenus en Italie sont à peu près les mêmes que celles auxquelles on est parvenu dans les autres pays, c'est-à-dire que le rayonnement des panneaux et des parois sur le corps humain a un effet essentiellement physique et intervient dans les échanges calorifiques; on doit d'ailleurs essayer d'obtenir autant que possible une uniformité des déperditions du corps humain dans toutes les directions, compte tenu des positions différentes que les sujets peuvent avoir.

En ce qui concerne la grandeur à prendre en compte dans les études qui sont à la base des notions de confort, on tend à utiliser de plus en plus en Italie la température résultante sèche que, d'après WINSLOW, on pourrait appeler la « température opératoire », le sens de cette dernière expression étant un peu différent de celui de température résultante, car il s'agit d'une grandeur essentiellement physique définie par l'expression :

$$\frac{r_a t_a + \sigma_r t_p}{\sigma_a + \sigma_r}$$

t_a étant la température de l'air;
 t_p la température moyenne des parois;
 σ_a le coefficient de convection du corps humain;
 σ_r le coefficient de rayonnement du corps humain.

Dans le cas de l'air tranquille — cas le plus fréquent — on a $\sigma_a = \sigma_r$, et la température opératoire devient égale à $\frac{t_a + t_p}{2}$, et coïncide sensiblement avec la température résultante sèche de MISSENARD. Elle ne tient pas compte de l'effet de la vitesse de l'air, ni de l'humidité, car on pense qu'il vaut mieux considérer ces effets séparément lorsqu'il faut en tenir compte.

Ma position personnelle est contraire à la tendance actuelle à créer de nouvelles grandeurs pour mesurer les effets physiologiques qui dépendent de plusieurs variables physiques; et l'expérience qu'on a faite à ce sujet avec la « température effective » des Américains, ainsi que par ailleurs avec le décibel, le phone et le sone, pour l'acoustique, confirme, je crois, cette opinion.

Je pense qu'il est intéressant de mentionner l'interprétation physiologique donnée en Italie à un phénomène important : celui des températures tolérables des panneaux de sol. La question n'a pas seulement un intérêt physiologique, mais également un intérêt pratique d'installation et d'exploitation, car on limite souvent par des calorifuges la diffusion de la chaleur des panneaux de plafond vers le haut.

A mon avis, la température maximum de sol, ou pour mieux dire la transmission maximum de chaleur qu'on peut admettre entre le sol et les pieds, dépend de la zone physiologique dans laquelle l'homme se trouve; si on est dans la zone de froid, c'est-à-dire au-dessus de la température de neutralité, on peut tolérer une température de sol élevée et elle est même agréable; si on est dans la zone de thermolyse, la transmission de chaleur aux pieds devient gênante.

C'est pourquoi la température admissible du sol doit être rapportée à la température de neutralité et dépend non seulement de la température résultante sèche du local, mais aussi de l'activité physique et du pouvoir calorifique des vêtements.

On en déduit que, dans les régions froides, le chauffage par le sol peut être rarement recommandé dans les locaux de luxe dans lesquels on exige des températures élevées, alors qu'il est par contre mieux adapté pour les maisons économiques dans lesquelles on adopte des températures d'ambiance inférieures.

C'est sur les bases des principes de calcul que nous avons exposés que se fondent aujourd'hui la majorité des installations par rayonnement en Italie, réalisées d'après différents systèmes :

Il y a lieu à ce point de vue de considérer les systèmes suivants :

1° Système à tubes enrobés à basse température;

2° Système à tubes non enrobés à haute température dont les premières applications ont été faites il y a quelques années d'après le système Arsa;

3° Système à tubes et plaques rayonnantes à haute et basse température (Crittall, Musgrave, Squassi, Frenger, Gini, etc.).

Le premier système, compte tenu du type de construction employé en Italie (en général en béton armé) et des rapports de prix entre les différents matériaux, est sans doute le plus répandu, surtout pour les bâtiments civils, pour lesquels il tend presque toujours à se substituer au chauffage par radiateurs.

Les deux autres systèmes ont trouvé surtout jusqu'ici des applications dans les ateliers, les usines, les grands locaux, ainsi que pour certaines installations particulières d'absorption acoustique.

Système à tubes enrobés dans le béton.

Si l'on considère le système à tubes enrobés, le problème qui se pose avant tout est de déterminer l'émission de chaleur des tubes enrobés dans les planchers, car en ce qui concerne les déperditions et l'efficacité, nous avons déjà exposé les principes qu'on adopte en général.

Les principes suivant lesquels on exécute le calcul en Italie ont été exposés dans une publication de 1937, et pour mieux les illustrer nous supposons avoir une dalle homogène dans le sens horizontal, mais avec des couches de différente nature dans le sens vertical.

On considère les deux coefficients de transmission par convection et par rayonnement vers le haut et vers le bas comme correspondant à la conduction des deux couches de matériaux très mauvais conducteurs, de façon à ce qu'on puisse négliger la transmission de chaleur dans le sens transversal.

On peut alors démontrer que le rapport de l'émission de chaleur vers le haut et vers le bas, pour des tubes placés dans un plan parallèle aux faces de la dalle, est le même quel que soit l'écartement des tubes et est identique à celui que l'on aurait dans le cas d'une plaque continue placée dans le plan des tubes. Il est de ce fait opportun de se rapporter, pour l'étude de l'émission, au cas schématique et simple de la plaque continue. On a alors, si :

λ est le coefficient de conductibilité de la plaque;

s son épaisseur;

k_1 le coefficient de transmission totale de la plaque vers le haut;

k_2 le coefficient de transmission totale vers le bas;

l'équation suivante :

$$(5) \quad t_m - t_0 = (t - t_0) = \frac{2}{\mu \delta} \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}$$

où

t_m est la température moyenne de la plaque;
 t_0 la température des locaux au-dessus et en dessous;
 t la température des tubes;
 δ l'écartement des tubes;

μ une valeur caractéristique, valant $\sqrt{\frac{k_1 + k_2}{\lambda s}}$.

Le rapport entre l'émission q d'un tube de serpents, à un écartement δ , à l'émission q_0 d'un tube seul, c'est-à-dire d'écartement infini, est donné par la relation :

$$(6) \quad q = q_0 \operatorname{tg} \frac{\mu \delta}{2}$$

la température t_x de la plaque, à une distance x du tube, étant donnée dans ce cas d'un tube seul par la formule :

$$(7) \quad t_x - t_0 = (t - t_0) e^{-\mu x}.$$

Le cas d'une dalle en béton armé peut être rapporté aux formules précédentes si on attribue à s , et par conséquent à μ , des valeurs appropriées, valeurs que l'on peut déterminer expérimentalement en mesurant les températures, sur le plan des tubes, aux différentes distances, avec un seul tube chauffant.

Si nous considérons une dalle limitée par deux surfaces S_1 et S_2 planes et parallèles, constituée par plusieurs matériaux différents, et si nous considérons une surface plane S_0 parallèle aux surfaces limites et contenant les tubes chauffants à une même température, avec un écartement δ et émettant de la chaleur symétriquement à droite et à gauche, nous pouvons représenter la dalle en coupe comme indiqué sur la figure 25.

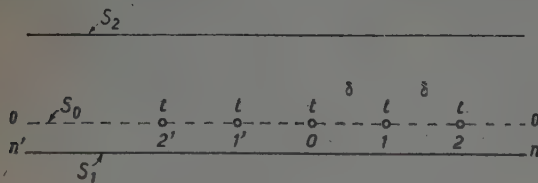


FIG. 25.

Si nous supposons que la dalle est étendue à l'infini des deux côtés du tube, si nous portons ce tube à la température t , t_0 étant la température des locaux supérieurs et inférieurs et t_x la température qui s'établit dans la surface S_0 à la distance x des tubes et que nous pourrions mesurer expérimentalement, nous aurons la formule :

$$(8) \quad t_x - t_0 = (t - t_0) f(x).$$

Si q_0 représente la chaleur émise par le tube dans ces conditions, et q la chaleur émise par le tube dans une série de serpents avec un écartement δ , on a :

$$(9) \quad \frac{q}{q_0} = \frac{1}{1 + 2f(\delta) + 2f(2\delta) + \dots + 2f(n\delta)}$$

Si k_1 et k_2 représentent la conductance vers le haut et vers le bas, à partir de la surface S_0 , on a :

$$(10) \quad q_0 = 2(t - t_0)(k_1 + k_2) \int_0^\infty f(x) dx$$

ou encore :

$$(11) \quad \frac{t_m - t_0}{t - t_0} = \frac{1}{\delta} \frac{2 \int_0^\infty f(x) dx}{1 + 2f(\delta) + 2f(2\delta) + \dots + 2f(n\delta)}$$

t_m étant la température moyenne de la surface S_0 et :

$$(t_m - t_0) \delta (k_1 + k_2) = q.$$

Si on compare les valeurs des équations (8), (9) et (11), que l'on peut déterminer expérimentalement, avec les équations (7), (6) et (5) respectivement, on peut en déduire la valeur équivalente de μ si on veut assimiler la dalle à une plaque métallique. C'est la méthode que nous avons employée, dans le système italien *discalor*, pour déterminer les valeurs de μ à adopter en pratique dans les différents cas.

Dans le cas de dalles massives et de dalles à corps creux, système le plus employé, on a donné des formules simplifiées pour établir les valeurs de μ en fonction des divers paramètres, parmi lesquels jouent un rôle très important : le rapport entre la chaleur qui se transmet vers le haut et vers le bas, l'épaisseur de la dalle et l'écartement.

Il est évident que si le principe est simple, la détermination pratique ne l'est peut-être pas autant, mais je crois que parmi les formules fondamentales adoptées dans d'autres systèmes de calcul, celles-ci présentent l'avantage de tenir compte de façon assez exacte et simple de la diffusion de chaleur vers le haut et vers le bas, ainsi que de l'influence de l'écartement des tubes.

Les formules (5), (6) et (7) ont été données par KALOUS dans le cas d'une plaque métallique, mais il était important de mettre en évidence leur signification et l'exploitation que nous avons pu en faire dans le cas de dalles en béton.

Les résultats pratiques qu'on a obtenus ont été très satisfaisants, car on est parvenu dans ces installations à une homogénéité de température dans les différents locaux supérieure à celle qu'on obtient en général dans les systèmes normaux à radiateurs, et c'est sans doute à cause de ces résultats que le système à tubes enrobés s'est largement développé depuis la guerre en Italie, beaucoup plus qu'il n'y était parvenu dans les 30 années d'application précédentes. Il tend maintenant de plus en plus à s'intégrer dans les systèmes ordinaires de chauffage.

Si l'examen objectif du problème a permis de mettre au point le calcul des installations et d'éclaircir la valeur de certaines affirmations douteuses, il faut cependant avouer que le problème du chauffage par rayonnement à tubes enrobés entraîne plus de difficultés que les systèmes ordinaires, et que les conséquences d'une erreur peuvent être beaucoup plus graves. C'est une question qui se pose actuellement en Italie, où le développement et le succès des installations à tubes enrobés menace d'assurer au système une très grande popularité et d'entraîner une confiance ou une insouciance excessives, qui peuvent conduire à des désillusions évidentes.

Il se pose d'ailleurs de nombreux problèmes secondaires, qu'il est souvent nécessaire de considérer; il serait impossible de les examiner tous aujourd'hui; je mentionnerai simplement ceux qui à mon avis sont les plus intéressants.

Dispositifs de sûreté.

Le danger d'une température excessive dans les serpentins a été résolu en général en Italie par mélange de l'eau de départ avec l'eau de retour d'après des dispositifs spéciaux, de façon à ce que, même en cas d'arrêt des pompes de circulation ou en cas d'ébullition, la température ne soit pas modifiée de façon dangereuse.

Rafrâichissement des locaux.

Une application connue depuis longtemps des systèmes de chauffages à tubes enrobés est le rafraîchissement obtenu en faisant circuler de l'eau fraîche dans les serpentins. Le refroidissement de cette eau peut s'effectuer au moyen de l'eau du sol, ou de machines frigorifiques. Un problème important de ces installations est celui du réglage simultané de l'installation fonctionnant en chauffage et de l'installation fonctionnant en rafraîchissement. Les moyens permettant d'effectuer ce double réglage sont multiples :

a) La subdivision en plusieurs réseaux selon les orientations;

b) L'installation de deux serpentins séparés dans un même local, l'un ou l'autre pouvant être exclu en été ou en hiver;

c) La subdivision des serpentins entre sol et plafond, de façon à faciliter l'équilibre de température, soit d'été, soit d'hiver, en exploitant le fait que le coefficient de convection est plus grand pour les serpentins du plafond, dans le cas du rafraîchissement, et pour le sol, dans le cas du chauffage. Ce système s'est avéré pratiquement très efficace dans certains cas où l'adoption exclusive des autres procédés aurait conduit à des complications excessives.

Combinaison des panneaux et du conditionnement d'air.

De nombreuses applications ont été faites du système à tubes enrobés pour le chauffage, le rafraîchissement et le conditionnement, en particulier dans des édifices comportant de nombreux locaux, par application du « Split-System », c'est-à-dire en fournissant la majeure partie de la chaleur et du froid par les panneaux et en n'introduisant de l'air conditionné qu'en quantité nécessaire au renouvellement.

Ce système présente l'avantage de fournir la chaleur à une température assez basse, et le froid à une température assez haute, ce qui permet d'utiliser les compresseurs frigorifiques comme pompes de chaleur, avec des rendements très élevés, et souvent aussi d'utiliser, pour ces deux buts, les eaux du sol.

Les premières installations de ce genre faites en Italie remontent à bien avant-guerre, c'est-à-dire en 1937, et depuis lors elles ont été très nombreuses.

Maisons économiques.

Le chauffage par le sol a trouvé aussi son emploi dans les petits appartements des grandes maisons ouvrières, grâce à l'utilisation de solutions très économiques, toutes les pièces d'un même appartement étant chauffées par un ou deux serpentins dont les robinets de réglage sont placés à l'extérieur de l'appartement.

Pour l'économie d'exploitation, on a fait des installations de ce genre en assurant seulement des températures de fond dans certains locaux, et une température plus élevée dans le local de séjour.

Certains hygiénistes ont d'ailleurs considéré le chauffage de fond, pour le climat de l'Italie du nord, comme une condition qui devrait être satisfaite et rendue obligatoire au même titre que la distribution d'eau potable.

Sur ce point, le chauffage par le sol représente sans aucun doute la solution idéale.

Inertie.

On reproche souvent au chauffage par rayonnement une inertie excessive. La quantité de chaleur accumulée dans les structures est une des caractéristiques importantes des installations à tubes enrobés qu'on ne peut négliger.

Les applications de ce système, faites en Italie dans des bâtiments d'habitation, bureaux, etc., à structures massives et à planchers en corps creux, ont montré que, l'inertie du bâtiment étant toujours plus grande que celle de l'installation de chauffage, le problème du réglage de l'installation peut être résolu sans difficulté.

Les études théoriques faites à ce sujet en France sont fondamentales pour les techniciens du monde entier; en Italie le problème a été résolu d'une façon simple et pratique qui a donné des résultats très satisfaisants.

Du fait que, dans un bâtiment, les locaux se comportent de façon très différente sous l'influence des variations de température extérieure (locaux de coin, locaux à grands vitrages), tout en étant chauffés par le même réseau, il est évident que la solution théorique donnée par les courbes d'influence n'est pas absolument applicable et qu'il faut se contenter d'une solution moyenne approchée.

Pour atteindre ce but, on a utilisé une maquette chauffée avec le même réseau que l'installation qu'on veut régler, avec une très petite inertie et des vitrages proportionnés à ceux du bâtiment, dans laquelle on met le thermostat d'ambiance.

La température et l'inertie de la maquette peuvent être modifiées et adaptées aux résultats pratiques. Le dispositif peut être utilisé pour les autres procédés de régulation, employés dans les cas ordinaires, tels que : impulsions sous l'action de la température extérieure, emploi de vannes trois voies, etc.; la seule modification vis-à-vis du système ordinaire étant que le thermostat d'ambiance, au lieu d'être installé normalement, est placé dans le local témoin à inertie réglable, chauffé par le même réseau. Ce dispositif très simple est suffisant pour les bâtiments ordinaires, et avec des planchers en corps creux.

Que l'inertie puisse provoquer une plus grande consommation de combustible est un danger qui n'existe pas dans les bâtiments de la catégorie considérée, car dans le cas de chauffage discontinu les courbes de refroidissement des locaux ne sont pas modifiées sensiblement par le fait qu'on a une installation à tubes enrobés, et dans la majorité des cas une courbe de refroidissement plus lente paraît même souhaitable pour mieux conserver la température pendant la nuit, si l'on arrête le chauffage.

Il y a évidemment des cas dans lesquels l'inertie du système à tubes enrobés joue un rôle défavorable, comme dans le cas de bâtiments à parois de très faible inertie et dalles chauffantes de grande épaisseur, ou dans le cas de locaux où il y a des variations de flux de chaleur très rapides et intenses (locaux ensoleillés à grands vitrages, salles de réunion, théâtres, cinémas).

Dans ces derniers cas, il est presque toujours nécessaire de recourir à un complément de chauffage par air chaud, et souvent même de conditionnement qui permet de mieux satisfaire aux variations rapides de puissance, tout en laissant au chauffage par rayonnement le rôle d'un chauffage de fond. Il faut bien reconnaître que ces cas ne correspondent pas aux conditions favorables à l'installation du système à tubes enrobés seul.

Corrosion.

On a souvent exprimé la crainte de corrosion dans les systèmes à tubes enrobés. L'expérience de plusieurs dizaines d'années a démontré que cette crainte n'est pas en général justifiée.

Il y a quelques cas de courants vagabonds qui ont provoqué des corrosions, cas qui se sont produits aussi dans quelques installations à radiateurs ordinaires; la protection cathodique s'est alors révélée efficace, sans qu'on ait pour le moment à envisager la nécessité de l'employer d'une façon systématique.

Influences statiques sur les dalles en béton armé.

Cette question, qui avait été négligée au début en Italie, est maintenant très discutée et a même fait l'objet de quelques études expérimentales.

Le problème est très complexe et ne peut être résolu seulement par des considérations théoriques, car il est bien connu que toute la théorie de la résistance des matériaux est fondée sur des hypothèses approchées; d'autre part, on ne peut se baser sur les seuls résultats pratiques, car dans ce domaine de la technique il y a des coefficients de sécurité de l'ordre de 4 à 5 qu'on ne peut réduire sans faire attention.

Au point de vue pratique, il y avait, et il y a sans doute encore, des techniciens qui soutiennent le fait que l'on doit calculer les dalles en béton sans tenir aucun compte des serpentins; il en est d'autres au contraire qui ont soutenu le fait que l'on peut considérer ceux-ci comme des fers d'armature ordinaires.

Les conclusions auxquelles nous sommes parvenus en Italie sont les suivantes lorsque les tubes des serpentins sont parallèles aux fers d'armature.

1° Il faut avant tout tenir compte des modifications de contrainte qui se produisent dans la dalle à cause des différences de température des différentes couches. Dans le cas de serpentins au plafond, on a une augmentation du moment négatif qui est donnée approximativement par :

$$\frac{M'}{M} = \frac{\Delta t}{50},$$

M étant le moment positif ordinaire;

M' le moment négatif supplémentaire;

Δt la différence de température dans l'épaisseur de la dalle.

2° Les serpentins, même si on veut en tenir compte dans la résistance, ne peuvent être assimilés complètement à des fers d'armature; il faut tenir compte de l'allongement qui a lieu par effet de dilatation, ce qui réduit leur effet utile à la moitié environ de celui d'une armature équivalente.

3° Par suite des effets dus à un rapide échauffement des serpentins, on doit toujours avoir un minimum de fers d'armature, qu'on peut établir d'ailleurs suivant différents procédés.

4° On doit vérifier le comportement de la dalle calculée selon ces principes lorsqu'il n'y a pas de chauffage; les conditions de stabilité dans ce cas sont toujours satisfaites si on tient compte de la résistance des serpentins.

Les incertitudes des hypothèses rendent à mon avis inutile une étude théorique plus poussée; en général, on augmente l'armature au moment négatif et on la diminue au moment positif entre les marges résultant des principes énoncés.

Il est évident que les effets statiques sont plus sensibles dans les dalles à corps creux, où les différences de température Δt entre les couches supérieure et inférieure sont plus grandes.

Autres systèmes de chauffage par rayonnement.

En ce qui concerne les applications du système avec tubes à libre dilatation, elles ont été jusqu'ici beaucoup moins nombreuses pour des raisons économiques et pour des raisons de facilité d'exécution.

Le système a été employé dans quelques cas particuliers. Il y a lieu de distinguer le cas où les tubes sont placés dans un espace complètement séparé du local à chauffer et le cas où la séparation est nulle ou discontinue.

Si, dans les conditions actuelles des prix des différents matériaux, le système n'a pas reçu jusqu'ici en Italie d'importantes applications, il représente toutefois une solution qui peut être intéressante dans certains cas et nous en citerons quelques-uns.

C'est le cas d'abord où l'on peut disposer de fluides à très haute température qu'on peut utiliser directement dans les tubes sans donner lieu à la calcination des poussières de l'air, ou à des noircissements des parois — car on a pu remarquer que même à Milan, avec des tubes au plafond à 140°, il n'y a pas de noircissement de celui-ci si on empêche les mouvements convectifs de l'air.

D'autres applications ont été envisagées avec ce système pour le chauffage indépendant de petits appartements.

Pour les grands locaux, c'est en général le système à plaques rayonnantes métalliques qui a été le plus utilisé. Bien que plusieurs de ces installations aient été exécutées en tôle d'acier, c'est l'aluminium qui va s'imposer comme le matériau le plus convenable au point de vue économique.

Tout récemment, et à la suite d'exemples qui nous viennent d'Amérique, on s'est préoccupé dans les bâtiments du problème acoustique, et cela a donné lieu à de nouvelles solutions de chauffage par rayonnement. Ce sont toutefois des applications en cours d'évolution et sur lesquelles il serait prématuré de faire un exposé en ce qui concerne l'Italie, d'autant plus que plusieurs systèmes ont été proposés et que le problème des bruits n'a pas eu, du moins jusqu'à présent, l'importance qu'il a atteint dans d'autres pays.

III. — Conclusion.

Je pense d'ailleurs avoir suffisamment profité de la bienveillante attention des auditeurs pour qu'il me soit permis de traiter plus complètement cette question dans une prochaine réunion.

Je voudrais conclure cet exposé en invitant les personnes ici présentes à visiter quelques-unes des installations effectuées en Italie, où elles seront les bienvenues.

Je serai très heureux de me tenir pour cela à leur disposition, soit directement, soit en les adressant à l'Association *Termotechnica Italiana*.

Je me permets enfin d'exprimer le vœu que cette sympathique réunion ait inauguré une plus étroite collaboration dans ce domaine de tous les techniciens de notre civilisation.

CONCLUSION DU PRÉSIDENT

Je vous remercie de votre communication et du vif intérêt qu'elle a suscité. Vous avez pu constater le silence attentif avec lequel elle a été écoutée.

Je souligne en passant un souci commun à M. GINI et à M. ADLAM, la crainte que des réalisations insuffisamment étudiées jettent le discrédit sur le chauffage par rayonnement. On sent cette inquiétude un peu dans tous les pays et cela me rappelle l'histoire du calorifère à air chaud cher à notre ami HERODY; il y a 50 ans on fabriquait d'excellents calorifères à air chaud mais la malfaçon et la diminution constante de la qualité pour abaisser exagérément le prix de revient avaient fini par discréditer ce matériel.

ÉTAT ACTUEL DE LA TECHNIQUE FRANÇAISE EN CHAUFFAGE PAR RAYONNEMENT DES LOCAUX NON INDUSTRIELS

par R. CADIERGUES.

AVANT-PROPOS DU PRÉSIDENT

Pour clore les communications sur le rayonnement nous allons entendre une communication de M. CADIERGUES que vous connaissez puisqu'il est le Directeur et l'animateur du Comité Scientifique et Technique de l'Industrie du chauffage et de la ventilation.

Introduction

M. le président MISSENARD m'a demandé de vous exposer la technique française du chauffage par rayonnement. Compte tenu du fait que les spécialistes qui viennent de vous exposer cette question pour leurs pays respectifs sont en nombre limité, je me permettrai d'ajouter quelques indications sur certaines techniques anglaises, hollandaises et suisses. Par contre, je ne parlerai pas d'une technique extrêmement développée en France et très intéressante : celle des panneaux suspendus, particulièrement adaptée aux locaux industriels; cette question sera en effet traitée lors d'un exposé que je ferai au prochain Congrès de Chauffage Industriel ⁽¹⁾. Mon objet sera donc essentiellement d'étudier le chauffage par rayonnement des locaux de type résidentiel, hospitalier, administratif, ou analogues.

Avant d'aborder l'exposé proprement dit, je voudrais — pour éviter par la suite des discussions sans fin — répondre à quelques questions qui me sont fréquemment posées.

Il faut d'abord préciser qu'il ne peut s'agir d'intervenir dans le domaine juridique du chauffage par rayonnement. Il existe de nombreux brevets dont je n'ai nullement l'intention d'étudier la validité; mes conclusions n'auraient d'ailleurs aucune valeur juridique. Je voudrais cependant signaler qu'on risque de faire une déduction trop sommaire du fait que le chauffage par rayonnement s'exploite sans brevet aux U. S. A. : la législation américaine sur la propriété industrielle est en effet très différente de la nôtre : il y a pratiquement peu de procédés industriels qui soient protégés par des brevets américains.

On me demande fréquemment — en particulier les ingénieurs-conseil — des documents de calcul des installations de chauffage par rayonnement. Je vous dirai très franchement mon opinion sur cette question : l'Association Américaine des Ingénieurs de Chauffage et Ventilation a dépensé l'équivalent de plusieurs dizaines de millions de francs à essayer de mettre au point des méthodes de calcul des panneaux. Or il est certain que les résultats auxquels est parvenue cette société et qui sont publiés dans le Guide sont insuffisants et provisoires — de l'avis même de l'A. S. H. V. E. Il est donc normal que les groupements de chauffage par rayonnement qui ont pro-

bablement supporté des frais de recherche de cet ordre de grandeur conservent par devers eux les résultats qu'ils ont obtenus. On peut bien entendu regretter ce « secret », mais on ne saurait valablement s'en plaindre.

Il existe d'ailleurs diverses méthodes publiées de calcul des panneaux — soit de source totalement théorique, soit de source totalement expérimentale, soit de sources expérimentales et théoriques à la fois. La première méthode générale qui est celle de Kalous, rectifiée par Heid-Kollmar applique la théorie du calcul des ailettes et fait intervenir en l'état actuel des choses un coefficient qui ne peut guère être que de nature expérimentale. M. GINI a donné un principe qui permet de réduire la détermination expérimentale au cas simple d'un tube unique. On a publié par ailleurs aux États-Unis, et en Allemagne plus récemment, une méthode théorique plus valable que les précédentes, mais qui dans la pratique a dû être corrigée par des facteurs expérimentaux ⁽¹⁾. La méthode d'Adlam enfin est de source essentiellement expérimentale, de même que les procédés utilisés par le groupe Crittall et adoptés, avec ou sans modification, par la majorité des installateurs européens. Ces méthodes donnent en fonction de la structure du panneau et de l'écartement des tubes le coefficient de transmission de chaleur entre le tube et l'ambiance chauffée.

En fait, je ne pense pas qu'il soit extrêmement gênant pour notre pays que les ingénieurs-conseil ne disposent pas de tables ou abaques de calcul des panneaux, car suivant notre conception actuelle, l'installateur de chauffage est un « marchand de température » et porte la responsabilité des résultats; on sait qu'il n'en est pas de même en général aux États-Unis où l'ingénieur-conseil peut supporter la responsabilité du projet, ce qui explique l'intérêt des techniciens américains de chercher à établir une méthode « officielle ».

Une question qui m'est posée très souvent est la suivante : le chauffage par le sol est-il vraiment du chauffage par rayonnement ? Pour répondre il faut avoir préalablement défini le chauffage par rayonnement : j'adopte personnellement la définition suivante : un chauffage par rayonnement est celui dans lequel la température résultante est supérieure à la température d'air. On peut critiquer la forme de ma définition — et même son fond —

⁽¹⁾ Voir R. CADIERGUES, *Le Chauffage par rayonnement par panneaux suspendus*, Congrès de Chauffage Industriel, Paris 1952, Section 53.

⁽¹⁾ Voir SHOEMAKER, *Radiant Heating*, New-York, 1948.

mais je ne crois pas qu'il soit bien utile de raffiner les définitions sur ce sujet. Moyennant notre principe, un chauffage par le sol est très souvent un chauffage par rayonnement; nous le considérerons, en tous cas, comme tel.

La question que je viens de soulever provient de la croyance, scientifiquement erronée, selon laquelle il existe des chauffages par convection d'une part, et des chauffages par rayonnement d'autre part; en fait c'est une question de degré, et chaque système comporte le plus souvent un mélange des deux phénomènes : convection et rayonnement.

J'ajouterai enfin, avant d'aborder mon étude proprement dite, qu'il ne peut s'agir de donner ici un cours de chauffage par rayonnement. Cette technique est encore en cours d'évolution, et il y a en outre tant de problèmes de conception et de mise en œuvre, que le chauffage par rayonnement exigerait pour être enseigné de très nombreuses conférences.

Historique sommaire.

Je pense qu'il est inutile de remonter aux Romains — et à leurs hypocaustes — et qu'il vaut mieux passer tout de suite aux premières applications du chauffage par rayonnement qui furent faites en 1908 par le professeur BARKER, qui s'aperçut que des tubes parcourus par de l'eau chaude et enrobés dans du mortier formaient une excellente source de chauffage.

Les premières réalisations systématiques anglaises eurent lieu à partir de 1912 — il y a 40 ans — et furent dues à la firme *Crittall*; les premières réalisations françaises, sous l'impulsion de M. BIGEAULT, à partir de 1927. Il y avait déjà en 1933 plus de 500 km de tubes en panneaux installés en France. Avant la dernière guerre, il y avait près de 1 500 installations européennes, dont certaines extrêmement importantes. Actuellement il doit s'installer, rien qu'en France, 1 500 à 2 000 km de tubes

par an dans les panneaux. Ces dates et chiffres suffiront je pense à fixer à la fois l'âge respectable et l'importance actuelle du chauffage par rayonnement en Europe et dans notre pays.

Loin de moi l'idée de nier l'importance de la contribution américaine dans cette technique, mais il faut savoir que l'Angleterre a été l'initiateur essentiel en chauffage par le plafond, que la France a possédé à Saint-Ouen dès avant guerre le laboratoire du groupe *R. Crittall Stralingswarmte*, le plus important du monde pour cette technique, que la Suisse avec DERIAZ, et surtout la France, ont été les initiateurs essentiels du chauffage par le sol européen.

Actuellement, les techniques anglaises et allemandes accordent encore un privilège considérable au chauffage par le plafond, alors que la France et l'Italie utilisent comme les États-Unis les différents systèmes avec beaucoup plus de liberté. Plus de 90 % des panneaux enrobés français sont actuellement en sol, et cet aspect particulier de notre technique ne devra pas être oublié dans nos discussions, non plus que dans les tentatives d'application des techniques étrangères que l'on peut être tenté de faire. La technique américaine du sol se différencie d'ailleurs de la nôtre par un enrobage généralement plus profond et par l'utilisation importante de tubes en fer ou en cuivre, et non pas seulement en acier.

Je ne signalerai que pour mémoire les systèmes à vapeur, à air chaud ou électriques, et je n'aborderai ici que le système le plus utilisé : le chauffage par rayonnement à eau chaude. Je n'examinerai que très sommairement les techniques de panneaux rafraîchissants ou la combinaison avec le conditionnement d'air et de régulation automatique, les problèmes posés par cette dernière technique étant très importants en chauffage par rayonnement par panneaux incorporés, mais très complexes.

Dans l'ensemble, mon exposé portera surtout sur les problèmes de répercussion économique.

PREMIÈRE PARTIE

Économie d'Exploitation.

Protection des émetteurs et convection réduite.

L'argument fréquent pour démontrer l'intérêt du chauffage par rayonnement est de dire qu'on peut se contenter avec ce système de températures d'air plus faibles qu'en chauffage par convection. Mais de nombreux auteurs ont fait remarquer depuis longtemps que les échanges par rayonnement étaient accrus et pouvaient de ce fait annihiler le gain dû à la réduction des pertes par convection. Cela nous conduit à la critique des coefficients superficiels.

Je voudrais d'ailleurs, à ce stade critique, dépasser le domaine restreint que je dois m'assigner en principe aujourd'hui et justifier un peu de que j'appelle parfois : « la métaphysique des coefficients superficiels ». Cela est valable pour les déperditions en chauffage par rayonnement, mais aussi pour l'émission des panneaux, et également pour le chauffage par convection. On affirme traditionnellement que le coefficient superficiel est égal à la somme du coefficient de rayonnement et du coefficient

de convection. C'est inexact. Une paroi à la température t perd vers l'air à la température t' et les parois avoisinantes à la température t'' un flux égal à

$$q = c(t - t') + r(t - t'')$$

où c et r sont respectivement le coefficient de convection et le coefficient de rayonnement. Le coefficient superficiel dans sa conception classique est égal à :

$$h = \frac{q}{t - t'} = c + r \frac{t - t''}{t - t'}$$

c'est-à-dire qu'on n'a $h = c + r$ que si $t' = t''$, ce qui n'est presque jamais réalisé.

Je vais laisser de côté les coefficients superficiels extérieurs pour me consacrer aux coefficients superficiels intérieurs. J'ai déjà signalé plusieurs fois qu'ils étaient souvent nuls (ou voisins de zéro) pour des cloisons intérieures. Je voudrais aller plus loin et vous montrer comment ils peuvent être négatifs, à un degré tel que le coef-

ficient global K de transmission de chaleur soit lui-même négatif. Contrairement à ce que vous pourriez croire cela ne correspond pas à un cas extraordinaire : c'est celui de la cloison en pavés de verre séparant une véranda d'une pièce intérieure (fig. 26). Alors que la valeur « officielle » du coefficient K de cette cloison est de $1,9 \text{ kcal/m}^2/\text{h}^\circ\text{C}$, sa valeur probable, en régime permanent dans les conditions de la température de la figure est : $-15 \text{ kcal/m}^2/\text{h}^\circ\text{C}$.

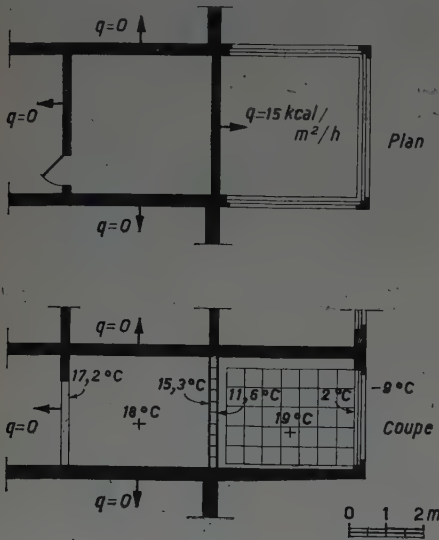


FIG. 26. — Exemple architectural d'un coefficient K négatif.

Cette critique n'a pas pour but de perturber les techniciens dans l'utilisation des coefficients classiques, mais l'on doit être très prudent dans l'utilisation des coefficients superficiels : le coefficient h_i varie, dans les conditions où nous avons pu l'étudier jusqu'ici en régime permanent, entre les valeurs $+15$ et $-2 \text{ kcal/m}^2/\text{h}^\circ\text{C}$. C'est dire ce que vaut la valeur forfaitaire de 7 (ou même — comble de précision — de 5 que l'on prend pour certaines parois). Ceci pour montrer que si l'on veut comparer les déperditions en chauffage par convection et en chauffage par rayonnement, il faut être très prudent, ne pas faire de calculs trop grossiers, et ne pas appliquer en particulier la méthode officielle de calcul des déperditions.

A supposer que la température d'air soit uniforme dans le local, il peut être montré ⁽¹⁾ qu'il n'y a pas de supériorité moyenne très nette du chauffage par rayonnement sur le chauffage par convection (le gain ne porte pratiquement que sur les pertes par ventilation), sauf si l'on utilise le principe de protection des émetteurs, c'est-à-dire si l'on réalise des dispositions telles que les panneaux ne rayonnent pas ou rayonnent peu vers les parois froides. Dans les locaux industriels c'est très facile avec les panneaux suspendus, isolés vers le haut. Mais pour les locaux où nous concernent plus spécialement aujourd'hui, dans lesquels la protection n'est pas généralement réalisable, à même température résultante, à température d'air uniforme et à même taux de renouvellement d'air, le chauffage par rayonnement ne présente pas en moyenne de réduction des déperditions supérieures à 5 % par rapport au chauffage par convection parfait.

⁽¹⁾ Voir R. CADIERGUES, *Physique et Géométrie des échanges par rayonnement*, à paraître (*Chaleur et Industrie*).

Cette affirmation doit toutefois être corrigée dans le cas où on a des locaux profonds aux dimensions très différentes de celles du cube : le chauffage par rayonnement peut alors provoquer des économies nettement plus accusées.

On doit en outre tenir compte des conditions de calcul sur lesquelles est basée notre affirmation : à savoir que la température résultante est prise à 2 m des parois froides, et fixée à, par exemple, 16°M , le chauffage par convection étant par ailleurs supposé parfait et provoquant le même renouvellement d'air que le chauffage par rayonnement. Or les taux de renouvellement sont, semble-t-il, moins élevés en chauffage par rayonnement, et le chauffage par convection parfait (température uniforme) ne pourrait guère être réalisé qu'avec de grandes vitesses de soufflage, augmentant dans les bâtiments qui nous intéressent aujourd'hui, les pertes par convection.

Efficacité.

Si donc finalement nous n'avons pu jusqu'à maintenant déceler d'économies assez sensibles en chauffage par rayonnement, par rapport au chauffage par convection, c'est que nous avons supposé ce dernier idéal et que nous avons admis une température d'air uniforme dans le local. Or il est souvent très loin d'en être ainsi : il y a des hétérogénéités de température, à la fois dans le sens vertical et dans le sens horizontal.

Je ne voudrais pas aborder complètement le problème de l'efficacité des systèmes de chauffage. Nous avons par ailleurs en cours une étude générale sur cette question et nous y reviendrons.

Il n'existe pas, à proprement parler, de théorie générale de l'efficacité; une théorie particulière a été donnée pour les panneaux suspendus ⁽¹⁾ mais pour le reste il faut recourir à des études expérimentales diverses, pour la plupart publiées en Allemagne et en Amérique.

Je rappellerai que l'efficacité d'un système de chauffage mesure en quelque sorte le rendement en « température utile » et est inférieur à 1 parce que l'air chaud est inutilement concentré au voisinage du plafond ou des surfaces de déperditions.

Du fait de ces deux sources de gaspillage l'efficacité d'un système peut être considérée comme le produit de deux « rendements » : l'efficacité « verticale » et l'efficacité « horizontale ».

a) A l'efficacité « verticale », on peut attribuer les valeurs suivantes ⁽²⁾.

CORPS DE CHAUFFE	EFFICACITÉ « VERTICALE »	
	Eau chaude	Vapeur B. P.
Radiateurs :		
4 colonnes	0,85 à 0,92	0,8 à 0,88
6 colonnes	0,84 à 0,95	0,79 à 0,93
lisse	0,95	0,93
Convecteurs	0,89 à 0,95	0,85 à 0,93
Plafond chauffant.	0,92 à 0,95	
Sol chauffant.....	1	

⁽¹⁾ A. MISSENAUD, « Théorie analytique et calcul pratique des chauffages par panneaux rayonnants en élévation », *Chaleur-Industrie*, n° 310-311, mai et juin 1951.

⁽²⁾ A. MISSENAUD, R. GIBLIN, *Cours Supérieur de Chauffage*. (Le chiffre pour les panneaux de plafond a été modifié.)

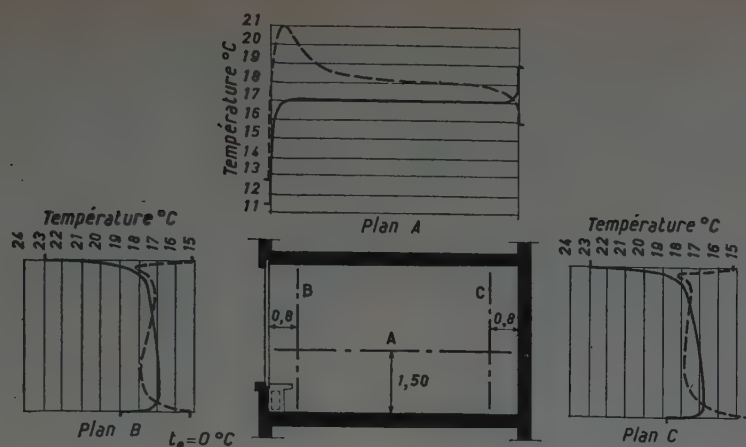


FIG. 27. — Répartition des températures dans un même local chauffé par radiateurs (courbes pointillées) et par le plafond (courbes en trait plein).

On constate que si les plafonds chauffants ne présentent pas sur ce premier point une efficacité très différente de celle des autres corps de chauffe, le sol chauffant est nettement supérieur et conduit à des économies de l'ordre de 8 %. On doit noter toutefois que l'efficacité précédente ne porte que sur les pertes par les parois pleines et que l'action de l'homogénéité de température joue un plus grand rôle pour la ventilation, ce qui pourrait porter l'avantage du sol à une valeur de l'ordre de 10 %.

b) L'efficacité « horizontale » qui a été nettement moins bien dégagée et qui tient à ce que, au-dessus d'un radiateur par exemple, il y a une zone d'air chaud. Si ce radiateur est en allège, cet air chaud est au contact des vitres. Des résultats sur ce point ont été donnés par NAPIER ADLAM et ont été fréquemment reproduits. Nous donnerons ici des résultats expérimentaux dus à HÖRTINGER, résultats que nous avons réduits à une même température résultante centrale pour la facilité de comparaison. Ces résultats sont reproduits figure 27 et permettent d'étudier l'économie globale des systèmes. On constate que le chauffage par le plafond réduit les déperditions par les fenêtres dans une proportion de l'ordre de 10 %, et les déperditions par renouvellement d'air de l'ordre de 15 %. Or les déperditions par les fenêtres et par renouvellement d'air constituant souvent plus de 80 % des déperditions d'un immeuble moderne, il ne paraît pas exagéré d'attendre par rapport au chauffage par radiateurs à eau chaude une économie de l'ordre de 10 % de combustible.

Pour le chauffage par le sol, on peut s'attendre, compte tenu de ce que nous avons dit à propos de l'efficacité « verticale » de ce système, à une économie de l'ordre de 20 %.

Ces valeurs sont à mon avis des valeurs moyennes, et il se pourrait que dans certains cas particuliers on puisse constater des économies nettement plus élevées, alors que dans d'autres cas on pourrait constater des valeurs nettement moins élevées (panneaux mal isolés vers l'extérieur par exemple).

On pourrait nous objecter que cette économie provient de ce que les radiateurs sont en allège, et qu'on pourrait les placer contre les cloisons intérieures. Mais il semble que cela provoque souvent au voisinage du sol la formation d'une couche d'air froid à vitesse relativement forte — surtout lorsqu'il y a des effets de ventilation transver-

sale, conditions qui ne peuvent être considérées comme confortables et qui font éliminer ce système — sauf cas exceptionnel.

Réglage et conduite.

Tous les raisonnements précédents sont basés sur des calculs en régime continu et ils ne peuvent être valables dans la pratique que si les difficultés de réglage et de conduite des panneaux chauffants n'annihilent pas l'économie théorique.

En ce qui concerne le réglage, il ne semble pas y avoir de difficulté (1).

En ce qui concerne la conduite, on sait bien par contre qu'un panneau enrobé dans un plancher très « lourd » (et nous en avons beaucoup en France actuellement) ne se conduit pas facilement. Si, par ailleurs, les façades sont extrêmement vitrées — ce qui n'est pas exceptionnel — il y a finalement une difficulté incontestable. On l'élimine en grande partie avec des systèmes de régulation automatique adéquats, et avec des panneaux à inertie réduite, mais la difficulté n'est jamais négligeable; et il se pourrait, si l'on n'y prenait garde, que des installations de chauffage par rayonnement, conçues sans tenir compte des servitudes inhérentes à certains bâtiments, ne donnent pas les économies de 10, 20 ou 30 % que l'on pourrait normalement attendre sur les consommations.

On dit également que ces économies sont réduites lorsque le chauffage est discontinu. C'est certain, mais la réduction est beaucoup moins grande qu'on ne le pense couramment, et les problèmes de conduite sont actuellement souvent beaucoup plus prépondérants que ceux d'intermittence.

Toutes ces questions sont importantes et justifient fréquemment, comme dans la plupart des autres systèmes, l'installation d'une régulation automatique, qui s'avère finalement économique. Mais, ainsi que je l'ai dit au début de cette conférence, je ne puis matériellement aborder aujourd'hui à fond ce sujet vaste et difficile.

(1) Sauf s'il y a combinaison avec le rafraîchissement : voir ce qu'a dit à ce sujet M. GINI.

DEUXIÈME PARTIE

Économie d'Installation.

Sols chauffants.

Il paraît actuellement incontestable que le chauffage par le sol est l'un des types de chauffage à eau chaude les plus économiques, puisqu'on l'a vu concurrencer dans certaines adjudications des systèmes plus classiques.

On a cherché aux États-Unis (M. NAPIER ADLAM vous en a parlé) à réduire à la plus faible valeur possible le coût d'installation du chauffage par le sol, par exemple en plaçant les tubes dans le soubassement de pierres concassées, ou en plaçant les tubes entre poutres dans les planchers. Mais il semble bien que la solution préférable soit — même si elle doit coûter légèrement plus cher — l'enrobage dans les mortiers ou bétons hydrauliques.

Pour diverses raisons les débuts du chauffage par rayonnement ont eu lieu avec des espacements de tubes de l'ordre de 10 à 20 cm, et ce sont ces dimensions adoptées en chauffage par le plafond que l'on a adoptées pour le chauffage par le sol. Il était inévitable que l'on cherche à espacer les tubes davantage, car cela réduit le coût d'installation, mais il faut augmenter la température de l'eau circulant dans les tubes et on risque alors d'obtenir au droit des tubes des températures superficielles trop élevées et inconfortables. Nous reviendrons sur cette question, mais il faut dès maintenant comprendre que tout dispositif peu coûteux qui permettrait d'espacer les tubes — jusqu'à 40 ou 50 cm par exemple, ou plus — tout en ayant une bonne uniformité de température superficielle, serait incontestablement de grand intérêt pratique.

De nombreuses tentatives ont eu lieu sur ce point. L'une des plus célèbres et des plus intéressantes, qui a fait beaucoup pour le développement du chauffage par le sol est le système Deriaz (fig. 28) où les tubes sont au contact de diffuseurs métalliques qui permettent une meilleure uniformité de la température. L'un des intérêts de ce système est que, les tubes étant à libre dilatation et non enrobés, on peut y admettre de l'eau chaude à 90° C ou de la vapeur basse pression par exemple, alors qu'avec des tubes enrobés on admettait jusqu'à ces dernières années qu'il ne fallait pas dépasser 50-60° C.

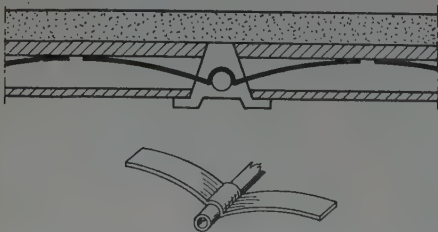


FIG. 28. — Chauffage par le sol, système Deriaz.

D'autres systèmes ont été mis au point, mais le plus récent, et sans aucun doute très intéressant puisque plusieurs réalisations ont déjà donné satisfaction, est le système Missenard, dans lequel le tube est séparé de la face d'émission par des isolants de dimension ou de formes choisies selon les cas. Un exemple en est donné à

la figure 29. Bien que les tubes soient enrobés, il semble bien d'après les essais répétés que l'on puisse y utiliser également de l'eau à 90° C. Ceci pose le problème des températures maxima de fluide chauffant dans les canalisations enrobées, point important sur lequel nous donnerons ultérieurement plus de détails. Nous pouvons en tous cas affirmer que cela est parfaitement possible, puisque la température de 90° est la température normale des panneaux de déneigement thermique, et qu'il y a eu des essais satisfaisants avec tubes enrobés dans le béton pour un fluide de chauffage à 175° C (350° F), essais qui ont été effectués depuis quelques années par M. NAPIER ADLAM.

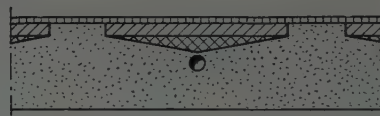


FIG. 29. — Chauffage par le sol, système Missenard.

Il semble donc qu'après s'être stabilisé à des méthodes analogues à celles du chauffage par le plafond, le chauffage par le sol, déjà bon marché, puisse améliorer encore ses prix, grâce à des techniques nouvelles. Il reste bien entendu que celles-ci doivent être soumises à des précautions spéciales, et que l'utilisation de hautes températures exige que l'on « absorbe » les dilatations par des joints résilients convenablement espacés, et que par ailleurs des dispositions convenables évitent des températures superficielles de sol trop élevées. Il est absolument inadmissible que le souci de réduction des prix conduise à des espacements de tubes élevés, sans précautions spéciales, et de ce fait à des températures de sol inconfortables.

L'utilisation de températures réduites à 50-60° C permet par contre d'enrober les tubes dans la dalle de compression, sans prévoir de dalle supplémentaire pour le panneau.

Plafonds chauffants.

Les premières installations de chauffage par rayonnement ont été réalisées avec enrobage des tubes dans le mortier de plafond. Je tiens à ce propos à mettre en garde les techniciens français contre la lecture rapide des ouvrages anglo-saxons, où le terme *plaster* ne correspond pas à ce que nous appelons plâtre, et où ce terme désigne une multitude d'enduits que nous utilisons assez peu en France dans leur ensemble, et cela par suite sans doute de la richesse de nos gisements de plâtre.

Le plâtre seul est inacceptable pour l'enrobage des tubes, car il corrode l'acier. Aussi doit-il être mélangé à la chaux en proportions convenables. Ces proportions, ainsi que celles de sable, diffèrent selon les auteurs (1)

(1) Pour plus de détails, voir R. FITZMAURICE, « Note on plastering over ceiling heating panels », *J. Inst. Heat. Vent. Engrs.*, n° 45, 1936. T. NAPIER ADLAM, *Radiant Heating*, New-York, 1949.

et selon la sécurité que l'on cherche à s'assurer contre la fissuration. M. NAPIER ADLAM a discuté ce point au cours de sa conférence, et montré comment il était possible de réaliser des plafonds chauffants à la fois satisfaisants et d'un prix réduit. Dans tous les cas l'installateur de chauffage par rayonnement doit fournir au maçon ou plâtrier, par l'intermédiaire de l'architecte, des directives précises de composition et de mise en œuvre des enduits de plafonds chauffants.

Dans certains cas, les tubes sont enrobés au-dessus de l'enduit dans le béton (éventuellement entre les corps creux), et il est alors particulièrement intéressant de mêler les tubes à l'armature du plancher si celui-ci est en béton armé. Cette solution peut paraître audacieuse, mais en fait elle est déjà ancienne, et a fait l'objet de brevets dans tous les pays, qui ont été particulièrement contrôlés en Hollande, en Allemagne, en Italie et surtout en Suisse, contrôles fondamentaux sur lesquels je reviendrai en fin de conférence. Il est heureux que les bureaux de contrôle français admettent maintenant cette technique, du moins au stade expérimental, et soient disposés à faire preuve de plus de largesse. Les réalisations françaises sont d'ailleurs déjà nombreuses où les tubes sont mêlés au ferrailage. Il n'y a eu aucun incident. Cela a d'ailleurs conduit dans certains cas à enrober les tubes de chauffage par le sol dans la dalle de compression, principe que j'ai déjà signalé.

Plus récemment, s'est développée l'utilisation de panneaux métalliques, et cela sans doute grâce à l'impulsion donnée à cette technique par ses succès en chauffage de locaux industriels, mais grâce aussi au succès des panneaux suspendus perforés dans le traitement acoustique des salles. On imagine en effet très facilement que les panneaux de plafond, au lieu d'être de construction, peuvent être rapportés, et construits par exemple en tôle qui, au contact des tubes placés au-dessus, rayonne vers le local à chauffer. On peut utiliser des tôles d'acier ou d'aluminium, ou même éventuellement d'autres matériaux sous des formes plus ou moins « astucieuses ». Il n'y a guère de limite actuellement aux initiatives qui peuvent être prises dans ce domaine, et ce n'est que dans quelques années que l'on pourra déceler les solutions les plus intéressantes.

Je voudrais toutefois signaler deux évolutions de cette technique du chauffage par panneaux métalliques. La première est l'utilisation de panneaux perforés pour le traitement acoustique des salles. Je n'insisterai pas ici sur ce procédé dont j'ai déjà parlé ailleurs ⁽¹⁾. Parmi les divers dispositifs qui sont utilisés en France, j'ai donné à la figure 30 celui qui a été utilisé pour les bâtiments provisoires de l'O. N. U. à Paris. Il en existe d'autres, basés sur un principe analogue.

Une autre tendance provient de ce qu'avec les panneaux métalliques on peut utiliser de l'eau chaude à 90° C,

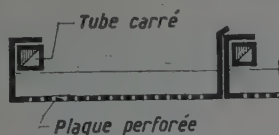


FIG. 30. — Chauffage par panneaux métalliques perforés, système Frenger.

⁽¹⁾ Voir R. CADIERGUES, « Intervention du chauffage et du conditionnement d'air dans l'acoustique des bâtiments », *Chauffage, Ventilation, Conditionnement d'air*, juin 1952.

et que l'on peut réduire pratiquement la surface chauffante à une partie seulement de la surface du plafond. On peut alors réaliser des plaques centrales, mais une tendance intéressante consiste dans l'utilisation de corniches rayonnantes qui ceinturent le local. Ce principe de chauffage rappelle les différents systèmes de chauffage périphérique qui ont actuellement un certain succès aux États-Unis. Il semble bien en effet — et à notre avis — qu'à défaut de réaliser une surface (sol ou plafond) presque totalement chaude, une des solutions les plus confortables est de « ceinturer » le local. L'avenir dira si ce principe est réellement valable.

Je voudrais signaler également, un peu à titre de curiosité, mais également pour montrer que la technique du chauffage par rayonnement n'est pas une technique morte, la réalisation du docteur MILLS qu'il a appelée maison « réfléchissante », à Cincinnati. Dans ce bâtiment les parois sont revêtues de feuilles d'aluminium qu'un traitement spécial a rendues mates à la lumière mais qui gardent leurs propriétés réfléchissantes dans l'infra-rouge. Dans des corniches entourant les pièces sont installés, comme de véritables tubes d'éclairage indirect, des tubes de chauffage et rafraîchissement. Le résultat s'est traduit en 1951 ⁽²⁾ par une économie de combustible de l'ordre de près de 40 % par rapport à ce qu'on pouvait attendre avec un système traditionnel, et ce, bien qu'il y ait un taux de ventilation artificielle très appréciable avec air pris à l'extérieur. Ce résultat suffit, je pense, à situer l'intérêt du système, bien qu'il n'ait été réalisé actuellement, pour des besoins expérimentaux, qu'en chauffage électrique.

Combinaison avec le conditionnement d'air.

Une solution extrêmement séduisante, et dans certains cas économiquement intéressante, est d'utiliser les panneaux pour le rafraîchissement. On sait que l'on ne peut utiliser pour cela les corps de chauffe normaux parce que la température superficielle de ces éléments serait en dessous du point de rosée; mais pour les panneaux on a généralement une température superficielle supérieure au point de rosée, ou du moins dans le cas de charge frigorifique très importante, les panneaux peuvent constituer un appoint extrêmement important au conditionnement d'air, réduisant le volume d'air à traiter et créant des conditions de confort incontestables.

Cette solution est également possible avec les corniches chauffantes si l'on adopte les dispositions du docteur MILLS, les tubes ceinturant le local étant au-dessus d'une gouttière où s'écoule l'eau de condensation.

On peut également souffler l'air à travers les panneaux, et diverses installations françaises ont été réalisées sur ce principe. Celui-ci semble d'ailleurs particulièrement adapté aux panneaux perforés, sous réserve toutefois de dispositions spéciales.

Je ne veux pas insister outre mesure sur la combinaison du chauffage par panneaux et du conditionnement d'air. C'est une solution souvent intéressante. Je voudrais en tout cas signaler que le panneau à basse température est la solution la meilleure pour le chauffage thermodynamique. Je ne comprends même pas que dans ce cas on ait réalisé parfois des chauffages par radiateur. C'est une grossière erreur économique ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Voir C. A. MILLS, « A year's operating results for reflective radiant conditioning », *Heat. Pip. Air Condition.*, février 1952.

⁽²⁾ Pour plus de détails, voir R. BILLARDON, « Le Chauffage thermodynamique », *Annales Inst. Tech. Bât. et Trav. Publ.*, janvier 1952.

TROISIÈME PARTIE

Questions physiologiques et esthétiques.

Problèmes physiologiques.

Qualité des ambiances.

Nous avons exposé, au cours du dernier *Cycle de Chauffage de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, le problème de la température résultante et je n'y reviendrai pas. On sait que l'échelle de température résultante a pour but de repérer le niveau thermo-physiologique d'une ambiance.

Or, il semble que les divers systèmes de chauffage ne soient pas aussi agréables, à température résultante égale, ou plus exactement ne soient pas aussi « stimulants ». C'est là un problème difficile, sur lequel les idées ne paraissent pas très claires et que les Anglais ont introduit par la notion de « freshness » que nous appellerons « qualité stimulante » d'une ambiance.

Il est couramment admis que le chauffage par rayonnement est plus agréable que les autres systèmes de chauffage. On attribue généralement ce fait au rayonnement chaud des parois. Je pense que c'est là une explication insuffisante et qu'il convient de chercher plus loin.

Ce sont sans doute les auteurs anglais — et surtout BEDFORD — qui ont le plus insisté sur les qualités diverses à demander aux installations de chauffage. BEDFORD a essayé, avec ses élèves, de repérer quantitativement la qualité stimulante des ambiances (1). Bien qu'opérant sur des bases statistiques et avec calcul correct des coefficients de corrélation et de régression par rapport aux variables : vitesse de l'air, pression de vapeur d'eau, température de l'air, température des parois, nous craignons que les formules mathématiques adoptées ne déforment un peu les résultats expérimentaux. Nous retiendrons des expériences (et non des formules) deux faits saillants :

a) En hiver (température résultante de l'ordre de 16° M, résultats de BEDFORD et WARNER) un accroissement d'environ 2 dm/s de la vitesse d'air correspond à un accroissement d'une unité de la qualité stimulante de l'ambiance. Pour la compréhension, voici l'échelle de mesure de qualité stimulante :

REPÈRE	OPINION DU SUJET
0	Très « stagnant ».
2	« Stagnant ».
4	« Moyen ».
6	« Frais ».
8	« Très frais ».

Ce premier résultat permettrait à l'air chaud de donner une qualité stimulante supérieure d'environ une unité

à celle des panneaux (mais ce avec augmentation des déperditions). Il faut bien remarquer que ce résultat n'est valable que pour des occupants à peu près immobiles, car tout déplacement provoque une turbulence et une vitesse d'air par rapport au sujet qui dépend assez peu du système de chauffage et se situe facilement à 1 m/s. On sait bien d'ailleurs que pour des occupants très immobiles, le chauffage par rayonnement peut être assez « stagnant » (vitesses d'air inférieures à 0,6 dm/s).

b) Avec une vitesse d'air de l'ordre de 0,6 dm/s (résultats de MUNRO et CHRENKO) et une température résultante de 20° M la qualité stimulante d'une ambiance est de :

- + 3,2 pour des murs plus froids que l'air de 3° C;
- + 3,2 pour des murs aussi chauds que l'air;
- + 4,2 pour des murs plus chauds que l'air de 2° C.

Le chauffage par rayonnement peut donc être considéré, du fait des parois chaudes, comme de qualité stimulante supérieure d'environ une unité à celle du chauffage par convection.

Finalement — et globalement — il y aurait une compensation des effets de qualité pour les occupants immobiles, et la théorie de la « freshness » n'expliquerait qu'imparfaitement la qualité généralement reconnue au chauffage par rayonnement d'être plus agréable. C'est pourquoi nous allons abandonner les recherches scientifiques générales pour montrer comment quelques observations justifient qu'en fait le chauffage par rayonnement est plus agréable.

Le premier point concerne le degré hygrométrique. En négligeant les dégagements intérieurs d'humidité dans les locaux, et en supposant les parois des bâtiments inertes (ni absorption, ni évaporation d'humidité de ces parois), on peut admettre que la teneur en vapeur d'eau est la même à l'intérieur des locaux qu'à l'extérieur. En hiver, pour une pièce type à 16° M, dont l'air est à 17,5° C en chauffage par convection et à 15° C en chauffage par rayonnement, avec une teneur en vapeur d'eau de 5 g par kilogramme d'air sec, les degrés hygrométriques sont les suivants :

Chauffage par convection.....	42 %
Chauffage par rayonnement.....	48 %

Le chauffage par rayonnement est à peu près le seul à maintenir en hiver un degré hygrométrique toujours supérieur à 45 %. Signalons que la qualité stimulante d'une ambiance varie avec le degré hygrométrique, mais les résultats (augmentation d'une unité de qualité stimulante pour un accroissement de degré hygrométrique de 15 %) ne sont pas suffisamment nets pour modifier ce que nous avons dit sur l'insuffisance apparente de la « freshness ».

En fait, je crois personnellement que l'action du chauffage par rayonnement est due à des avantages d'apparence secondaire, mais dont la sommation me paraît susceptible d'avoir une certaine répercussion économique en conduisant les utilisateurs à être satisfaits de leur chauffage pour des températures résultantes plus faibles. Ces avantages sont

(1) Quelques indications sont données par T. BEDFORD, « État de la recherche et des tendances de la technique en Angleterre depuis 1940 », *Ann. Inst. Tech. Bât. Trav. Publ.*, nov. 1951. Les études originales sont : T. BEDFORD, C. G. WARNER, « Subjective impressions of freshness in relation to environmental condition », *J. Hygiene*, 39, 498, 1939; A. F. MUNRO, F. A. CHRENKO, « The effect of radiation from the surroundings on subjective impressions of freshness », *J. Hyg.*, 47, 288, 1949.

a) La sensation de sol chaud, même quand on chauffe par le plafond; on néglige, par souci de simplicité, la température du sol dans la notion de température résultante, mais il est certain qu'elle n'est pas toujours négligeable, en particulier pour les sujets debout ou assis à poste fixe;

b) L'échauffement des objets (outils et machines en particulier), phénomène extrêmement net dans les ateliers de petite mécanique par exemple, où la sensation de « machines chaudes » est très agréablement accueillie par les ouvriers;

c) L'adaptation automatique de la température résultante à l'activité; c'est-à-dire que lorsque l'activité des occupants augmente, la température résultante diminue en chauffage par rayonnement (au contraire de ce qui se passe en chauffage par convection) et cela correspond exactement aux nécessités physiologiques de confort; il s'ensuit qu'un chauffage par rayonnement s'adapte mieux aux changements d'activité corporelle.

Il y a également d'autres phénomènes qui ne se répètent peut-être pas économiquement, mais qui permettent au chauffage par rayonnement d'être plus agréable, c'est d'abord que la couche d'air dans laquelle « baignent » les jambes est relativement chaude et se déplace à faible vitesse, c'est ensuite que l'air à hauteur de respiration est relativement plus frais et plus humide, ce qui rend certainement plus aisé le fonctionnement des voies respiratoires.

Tous ces avantages résultent un peu du hasard, et il ne faudrait pas croire qu'on les a particulièrement recherchés. Mais ils sont réels et — bien que constatés a posteriori — ils sont pratiquement importants, quoique difficiles à chiffrer.

Températures maxima de paroi.

Pour qu'à température résultante donnée, le chauffage par rayonnement soit réellement plus « agréable » qu'un chauffage par convection et plus « hygiénique », il faut que le plafond ou le sol ne soient pas trop chauds. C'est d'ailleurs une source de difficultés que de déterminer dans l'état de nos connaissances actuelles, les limites à respecter.

Températures de sol.

Lorsque le sol est trop chaud, il y a manifestement inconfort. On a prétendu que cela ne risquait de se produire qu'aux périodes de grand froid et qu'alors les occupants ne se plaindraient sans doute pas de ce phénomène. En fait, c'est bien en général au moment des grands froids que cela se produit, parce qu'on « pousse » alors l'installation et que les températures superficielles deviennent trop élevées.

Ce phénomène qui se produit au niveau du pied et de la semelle est scientifiquement assez difficile à préciser. En principe, le résultat dépend de la conductibilité — et si le phénomène est rapide — de la diffusivité du sol chauffant, et non pas seulement de la température superficielle du sol. On remarquera par ailleurs que la température de la plante des pieds, qui est très faible, varie avec les individus. Voici les résultats obtenus par SAIDMAN, d'après plus de 3 000 mesures.

Ce tableau montre que la surchauffe des pieds risque de se produire dès qu'on dépasse 25° C et ce résultat se confirme par les études scientifiques directes lorsque le pied reste en contact permanent avec le sol. Les études

AMBIANCE	HOMMES		FEMMES	
	Température de la plante des pieds	Fréquence	Température de la plante des pieds	Fréquence
	° C	%	° C	%
Chaud (> 20° C)...	26-32	84	28-31	58
Modérée (16-20° C)...	24-28	67	25-30	54
Froide (11-15° C)...	24-28	42	24-28	50

scientifiques directes ont d'ailleurs l'intérêt de montrer que — à condition que la température d'air ne dépasse pas 18° C au voisinage des jambes — la nature du matériau de sol n'intervient pratiquement pas : seule la température compte.

La valeur limite de 25° C n'est valable toutefois que dans des conditions typiques de stabilité relativement rares : par exemple, travail debout à poste fixe, tel que travail de laboratoire. Dès que le sujet est assis, le contact entre la semelle et le sol est moins intime, et il s'introduit une résistance thermique de contact qui permet de relever la limite fixée précédemment à des valeurs de l'ordre de 27-28° C. Pour des locaux tels que les salles de bain, avec pieds nus, le maximum peut sans doute être relevé à des valeurs de l'ordre de 30° C. De même pour les locaux de passage, à condition que ces passages soient rares; sinon (zone de déplacement fréquent d'ouvriers par exemple) il faut revenir à la limite de 28° C. En d'autres termes, nous recommandons les maxima suivants de température superficielle de sol chauffant (à prendre sur une largeur de 2 cm au droit des tubes) :

- Sujets debout à poste fixe (ex : laboratoire) : 25° C;
- Sujets assis à poste fixe (ex. : écoles, bureaux) : 27° C;
- Sujets debout ou assis à poste mobile (ex. : habitation), ou zone de marche fréquente (ex. : voisinage de machines) : 28° C;
- Salles de bain, couloirs (passages rares pour chaque individu) : 30° C.

Ce sont là des valeurs empiriques qu'il conviendrait de vérifier expérimentalement : elles ne doivent être admises actuellement que comme provisoires.

Nous nous permettons d'insister toutefois sur le respect de ces critères, ou de critères analogues. En effet, tous les développements que nous avons faits sont très favorables au chauffage par le sol, mais si des conditions particulières doivent conduire à des températures superficielles trop élevées, il ne faut pas chauffer par le sol, ou du moins n'utiliser ce mode de chauffage que partiellement.

En Angleterre on a voulu limiter la température de sol à 24° C et en Allemagne à 25° C. Aux États-Unis, on adopte 27 à 29° C. En Italie il n'y aurait de limite que pour les locaux de luxe, parce que la température d'air y est plus élevée. Je ne crois pas finalement que la température d'air joue un grand rôle puisque, en fin de compte, les limites américaines correspondant à une température d'air de 21° C sont plus fortes que les limites anglaises correspondant à une température de 16° C. Je suis donc persuadé que nous pouvons adopter les mêmes limites, qu'il s'agisse de locaux de luxe ou non, mais que ces limites doivent varier avec la situation des occupants. Cela explique d'ailleurs que, lorsqu'on oublie ce paramètre, on puisse avoir des limites variables selon les

auteurs. Je crois donc qu'il ne faut pas trop s'étonner des désaccords internationaux et qu'il faut se fier aux pays qui ont une grande expérience du chauffage par le sol : les États-Unis, la France et l'Italie.

Il ne faudrait pas, par contre, que l'absence de norme conduite à des installations inacceptables, parce que de sol trop chaud pendant une partie importante de l'hiver.

Températures de plafond.

Lorsque la tête reçoit un flux de rayonnement trop élevé, il s'ensuit un état d'inconfort, qui peut même atteindre un niveau pathologique, par exemple au soleil. On admet que la limite dangereuse, qui est de l'ordre de 900 kcal/m²/h pour le rayonnement visible (qui pénètre dans les couches superficielles de l'épiderme) n'est seulement que de 300 kcal/m²/h pour un rayonnement infra-rouge de grande longueur d'onde tel que celui émis par les panneaux chauffants à « basse température ». Mais on atteint l'inconfort très nettement au-dessous des limites précédentes. Nous allons essayer de donner quelques renseignements numériques indicatifs sur ce sujet, bien que les travaux scientifiques le concernant soient rares.

Divers auteurs ayant par ailleurs extrait de résultats expérimentaux des chiffres différents, il nous paraît d'abord nécessaire de préciser les conditions opératoires des recherches (1). Une première partie de l'étude a porté sur le seuil de sensation de chaleur sous le rayonnement pour diverses longueurs d'onde (visible, infra-rouge pénétrant, infra-rouge non pénétrant), avec irradiation d'une zone frontale d'aire limitée (14,5 cm²). Pour des sujets blancs, avec de l'infra-rouge non pénétrant — le seul qui nous intéresse ici — le seuil est de 29 kcal/m²/h (36 avec les sujets noirs). Mais ce chiffre varie beaucoup avec l'aire frontale irradiée, et une deuxième partie de l'étude montre qu'une irradiation générale conduit à un seuil beaucoup plus faible.

SURFACE IRRADIÉE	SEUIL
0,2 cm ²	691 kcal/m ² /h
0,95	295
3,46	101
7,08	61
10,0	47
14,5	32
23,8	22
40	14

Pratiquement, en irradiant toute la tête on descend à un seuil de l'ordre de 8 kcal/m²/h.

Faut-il en conclure que ces ordres de grandeur (10 kcal/m²/h par exemple) constituent des limites pour le rayonnement ? Certainement pas, car ce n'est pas le seuil thermique, mais la sensation d'inconfort qui doit servir de base. Si l'on fait le calcul des déperditions du corps humain, on trouve pour la tête, dans des conditions de confort acceptable (entre 20 et 28° M), une déperdition de l'ordre de 70 kcal/m²/h. Or, entre 27 et 30° C, la température de la tête reste de l'ordre de 35° C, et on peut considérer à notre avis que c'est la température à ne pas dépasser. On aboutit alors aux résultats suivants, où θ désigne la température radiante moyenne au-dessus de la tête (2) :

(1) Voir T. W. OPPEL et J. D. HARDY, *J. Clin. Invest.*, **16**, 517, 525, 533, 1937. A. HARTLEY, *J. Inst. Heat. Vent. Engrs.*, **2**, 273, 1934.

(2) C'est-à-dire la température moyenne des parois au-dessus de la tête pondérée par la projection verticale de l'angle solide vectoriel sous lequel est vue chacune des surfaces.

TEMPÉRATURE D'AIR	MAX
12° C	47° C
16	42
20	38

Dans le cas le plus défavorable de locaux de grande étendue où θ est pratiquement égal à la température superficielle moyenne du plafond, on obtient des températures limites pour ce plafond de l'ordre de 42 à 45° C, qui ne sont que rarement atteintes.

Dans le cas particulier de fortes déperditions, il faut tenir compte de ces limites, mais à notre connaissance, ce défaut du chauffage par rayonnement a été trop fréquemment exagéré et ne peut guère se rencontrer avec des installations normales bien réglées et surtout bien conduites.

Microbes et poussières.

En ce qui concerne la teneur en poussières et microbes de l'atmosphère des locaux chauffés par rayonnement, il a été émis un certain nombre d'hypothèses contradictoires, certains prétendant que le chauffage par rayonnement diminue les poussières en suspension, d'autres prétendant le contraire.

Il semble très probable que la teneur en poussières soit effectivement plus faible en chauffage par rayonnement qu'en chauffage par convection. Une preuve expérimentale en est donnée par les mesures de Mejsstrik faites dans les lycées de Prague (avec l'appareil d'Owens), et qui ont donné les résultats suivants :

	TENEUR EN POUSSIÈRES	
	Salle de classe occupée	Extérieur
Radiateurs eau chaude.....	342	368
Radiateurs vapeur B. P....	338	255
Chauffage par le plafond...	304	532

montrant une assez nette réduction en chauffage par rayonnement par rapport à l'extérieur. Toutefois, la réduction ne paraît pas d'un ordre de grandeur suffisant pour qu'on puisse affirmer qu'elle présente un intérêt physiologique certain. Sur ce point des expériences plus précises seraient évidemment nécessaires.

A ce propos il me paraît d'ailleurs bon de signaler que les hygiénistes, tout en reprochant aux ingénieurs de faire abus des chiffres, n'hésitent pas à attribuer à la teneur en poussières et microbes de l'atmosphère une signification probablement très supérieure à la signification réelle, car si dans une ambiance il y a deux fois plus de microbes que dans une autre, rien ne prouve que la première soit significativement moins hygiénique. L'épidémiologie n'est malheureusement pas encore assez précise pour qu'on puisse toujours l'affirmer.

Et c'est cependant sur ce simple problème des poussières que l'on s'est basé pour prétendre que le chauffage par rayonnement — et en particulier par le sol — était moins hygiénique. Je n'hésite pas à affirmer d'ailleurs que ces prétentions sont gratuites. J'en donnerai une démonstration physique, pour le chauffage par le sol.

Les concentrations en poussières de fines particules (noyaux microbiens par exemple) varient avec les gradients de température. En chauffage par le sol, il y a au voisinage de la surface chauffante un gradient extrêmement important. On a tablé sur le fait que le sol chaud « soutenait » les poussières dans l'air par suite des courants

de convection, pour affirmer que ce système devait correspondre à une pollution de l'atmosphère plus grande. Il est certes effectif qu'au-dessus d'une paroi chaude il y a une zone sans poussière; mais au delà il n'y a rien de différent. Or, quelle est l'épaisseur de cette zone sans poussière ?

D'après les travaux les plus valables, elle serait d'épaisseur de l'ordre de $0,031 \Delta t^{0,56}$ cm, où Δt est la différence de température entre le sol et l'air ⁽¹⁾. En admettant même (cas très défavorable) qu'on ait 20° C de différence de température, on trouve que l'épaisseur de la « couche sans poussière » est de l'ordre de 2 mm. Dans ces conditions, les poussières au lieu de se sédimer au niveau 0, se sédimentent au niveau 2 mm, ce qui n'a absolument rien de dangereux qui soit démontré.

Certes les raisonnements précédents sont faits en négligeant la convection forcée. Mais si cette convection forcée provient des occupants, elle est pratiquement identique pour tous les systèmes de chauffage; si, par contre, elle provient d'un soufflage d'air, ce n'est pas du tout au désavantage du chauffage par le sol. On peut donc difficilement retenir ces affirmations d'après lesquelles il y aurait plus de microbes en chauffage par le sol. Il faudrait des résultats expérimentaux, et nous n'en connaissons pas. Ce que nous savons par contre sur les facilités d'entretien dues au chauffage par le sol ou par le plafond, tendrait à prouver qu'il y a, en général, moins de poussières en chauffage par rayonnement, où les vitesses d'air sont dans l'ensemble plus faibles.

Chaque technique un peu nouvelle est l'objet d'assauts répétés d'hygiénistes : ce fut aussi bien le cas pour l'asphalte, l'éclairage par fluorescence ou le béton armé. Ces attaques ne peuvent être prises au sérieux en l'absence

de preuves expérimentales, lesquelles manquent à notre connaissance en chauffage par rayonnement.

Problèmes esthétiques.

Les problèmes esthétiques sont souvent beaucoup plus importants pratiquement qu'on ne le pense. Il est certain que les panneaux incorporés présentent de grands avantages sur ce point, et c'est sans aucun doute une des raisons essentielles de leur succès.

Les obligations esthétiques ont souvent des répercussions qui ne sont pas négligeables. Certaines fissurations de plafond, par ailleurs sans danger, sont inacceptables pour de simples questions d'aspect. Il arrive même que ces obligations esthétiques rendent certains dispositifs inapplicables, bien que techniquement valables. Il est en effet extrêmement important que les effets thermiques ne provoquent :

— Ni de modification de structure chimique : c'est le cas par exemple des panneaux enrobés de plâtre, portés à trop haute température et qui brunissent;

— Ni des déformations accusées : c'est le cas pour des panneaux enrobés ou métalliques dans lesquels on n'a pas pris de précautions suffisantes contre les dilatations;

— Ni des fissurations, source essentielle des complications des enduits de plafond, dont a parlé en particulier M. NAPIER ADLAM.

Je ne veux pas insister outre mesure sur ces problèmes esthétiques, mais comme ils sont parfois oubliés et qu'ils constituent une servitude, j'ai cru bon tout de même d'en signaler l'importance pratique.

QUATRIÈME PARTIE

Panneaux en maçonnerie.

Indications générales.

Je laisserai de côté l'enrobage dans les enduits de plafond, sujet amplement discuté dans le rapport américain et je n'aborderai maintenant que l'enrobage dans le béton de ciment. J'insisterai un peu sur cette question, car elle fait l'objet de fréquentes demandes de renseignement, parfois même d'inquiétude, et très souvent d'erreur.

Le premier point concerne la corrosion. Il est bien connu qu'un béton de bonne qualité (nous verrons tout à l'heure ce qu'il faut entendre par là) protège le fer qu'il enrobe, puisque c'est là l'une des raisons essentielles du succès du béton armé. Cela n'empêche que certains cahiers des charges ont exigé de la peinture anti-rouille sur des tubes enrobés : c'est une absurdité, et j'espère que nous ne verrons plus de telles obligations dans les marchés. Un bon béton de construction n'est pas normalement très imperméable, et il peut, en cas d'humidité, y avoir transport de produits agressifs par l'eau filtrant à travers le béton, ces produits pouvant provenir d'un revêtement de sol ou d'un isolant par exemple. Ceci ne s'est presque jamais produit, pas plus qu'en béton armé, et les orga-

nisations compétentes de chauffage par rayonnement fournissent des indications sur les matériaux dangereux (extrêmement rares) qu'il faut exclure des panneaux ou de leur voisinage. En d'autres termes, de tels accidents ont eu lieu, comme ils ont eu lieu en béton armé; ils ont été extrêmement rares, et on sait actuellement les éviter. Ce n'est pas réellement un danger du chauffage par rayonnement.

On s'inquiète parfois de ce que devient le béton sous l'action de la chaleur. Il n'y a dans l'ensemble et sur ce point rien à craindre si l'on tient compte des dilatations. On a prétendu par ailleurs que le coefficient de dilatation du béton étant voisin de celui du fer, il n'y avait absolument rien à craindre. Ceci est souvent exact pour un panneau en régime, les coefficients de dilatation étant :

Acier.	12 à 13. 10 ⁻⁶
Béton (selon les agrégats, le ciment, l'humidité)	9 à 16. 10 ⁻⁶

mais il est bien évident qu'il peut y avoir des différences tout de même appréciables. En fait ce qui est plus grave, ce sont les dilatations au moment de la mise en marche de l'installation, où les tubes sont rapidement chauds alors que le béton est froid. Il y a un effet de choc qui est incontestablement primordial, les dilatations en régime permanent ne pouvant être graves que par les réactions

⁽¹⁾ D'après M. FISHENDEN et O. A. SAUNDERS, *Calculations of heat transmission*, Londres, 1932.

sur les appuis des panneaux. On aura donc à étudier essentiellement : d'une part les réactions sur les appuis en régime permanent, d'autre part l'action du choc thermique reçu par le tube dans sa gaine de béton froid.

Ce dernier phénomène est extrêmement important parce qu'il risque de provoquer dans le béton des efforts de traction très élevés. Or, on sait que le béton résiste mal à la traction. Ce phénomène est aggravé en pratique du fait que, sous l'action du retrait, le béton est généralement — et préalablement au chauffage — en état de traction. Ce dernier phénomène est très important, car lorsqu'on réussit à annuler les effets du retrait, il est rare qu'un choc thermique soit suffisant pour provoquer dans le béton une traction assez élevée pour le fissurer.

On pourrait penser que la dilatation brutale des tubes est susceptible de provoquer un « décollement » du tube et de sa gaine en béton, ou plus exactement une rupture d'adhérence. On sait en effet qu'il y a entre le béton et le tube des efforts de liaison extrêmement importants, analogues à ceux qui se produisent en béton armé entre béton et armature et qui bien que de nature assez mal connue ont été suffisamment étudiés pour qu'on soit certain de leur importance.

En fin de compte, il ne peut guère se produire de grave que des fissurations, et c'est là d'ailleurs parfois la source d'inquiétude de techniciens et d'architectes. Il y a des cas où la fissuration est esthétiquement inacceptable, il y a des cas où une fissuration poussée mettrait les tubes en risque de corrosion, mais il y a des cas — et ce sont de beaucoup les plus nombreux — où une certaine fissuration est parfaitement acceptable. Ceci n'est pas une position personnelle, ni commerciale. Nous citerons pour le montrer une page de M. LOSSIER, spécialiste en béton, de réputation mondiale, et un des experts français les plus connus ⁽¹⁾.

« Les fissures, sur l'importance desquelles on est actuellement mieux fixé qu'au début du béton armé, ont été et sont encore la cause de bien des craintes de la part des constructeurs et de leurs clients, et de bien des erreurs de jugement de la part de certains experts.

« Aussi longtemps que la fissuration ne s'aggrave pas avec le temps et sous la répétition indéfinie des charges normales, l'ouverture des fissures n'étant pas, par ailleurs, de nature à compromettre la conservation des armatures, elle ne constitue pas un danger pour la sécurité et la durée normale d'un ouvrage...

« Certains techniciens ont cru voir, dans cette dislocation du béton tendu, une grave menace pour la durée des ouvrages en béton armé. Les résultats obtenus depuis près d'un demi-siècle ne paraissent pas devoir accréditer cette crainte...

« Cette constatation n'atténue d'ailleurs en rien l'intérêt incontestable qui s'attache à supprimer, ou tout au moins à réduire, les contraintes de traction du béton... »

Je reviendrai ultérieurement sur les limites à assigner à la fissuration de façon à ce qu'elle ne présente pas un caractère dangereux, mais j'ai voulu insister, dès maintenant, sur la position à prendre vis-à-vis de ce problème.

Avant d'examiner les points particuliers que je viens d'énumérer, je voudrais aborder un aspect général : celui de la résistance des matériaux théorique et expérimentale. On nous dit très souvent lorsqu'une question paraît mal résolue : « faites des essais ». Mais quels essais faut-il faire et que pourra-t-on en tirer ? On ne se rend pas suffisamment compte, à mon avis, que, sans quelques bases théo-

riques d'orientation, des essais sur panneaux sont extrêmement coûteux, et ne peuvent réellement être entrepris actuellement, dans l'état des moyens financiers dont dispose la recherche appliquée française, sans qu'on ait de fortes chances d'obtenir des résultats. Or s'il s'agit de chauffer une dalle de béton avec serpentins pour voir ce qu'on obtient, cela ne donnera rien et a été fait des dizaines de fois. Même si la dalle se fissure à une température de fluide chauffant de 180° C par exemple, cela ne vaudra que pour la dalle, ses matériaux particuliers, la profondeur et l'espacement d'enrobage des tubes. Pour une autre dalle, et en particulier une dalle en œuvre liée à ses appuis, on ne saura pas étendre le résultat obtenu.

Est-il par ailleurs réellement possible de faire des calculs qui permettent de prévoir ce qui va se passer ? Disons tout d'abord que la théorie classique de la résistance des matériaux est très insuffisante ; la théorie de l'élasticité elle-même — malgré ses complications mathématiques — ne nous donne guère de résultats valables, car elle néglige les phénomènes de plasticité qui sont certainement loin d'être négligeables dans les panneaux.

Peut-on appliquer des règles semi-théoriques, du type règlement de béton armé ? C'est également difficile. Bien qu'il n'en soit pas ainsi dans les règlements de tous les pays, le règlement français tient pour négligeable la résistance à la traction du béton, alors que c'est pour nous le phénomène essentiel. En outre, ce règlement ne s'applique guère qu'au cas particulier envisagé, et même pour le béton armé il est des cas où on ne l'applique pas, ce qui conduit à des économies appréciables, sans réduction des coefficients de sécurité. Les applications que nous ferons de ce règlement n'auront donc qu'un sens indicatif.

Résistance des bétons, retrait et adhérence.

Résistance.

La résistance d'un béton croît en gros avec sa teneur en ciment, et décroît avec sa teneur en eau. Suivant ce principe (loi de Feret) la résistance d'un béton dépend essentiellement du facteur $\frac{C}{E}$ (C = teneur en ciment, E = teneur en eau).

En fait cette résistance dépend également de la nature du ciment, et non pas seulement de son dosage. On dispose en France d'une quantité assez grande de liants hydrauliques, parmi lesquels il peut être difficile de faire un choix. En principe on utilise pour les panneaux le ciment CPA 160-250, qui est le plus fréquent en béton armé. Le dosage, c'est-à-dire le poids de ciment en kilogrammes par mètre cube de béton mis en œuvre est d'au moins 300 (350 en béton armé).

On doit par ailleurs — d'après la loi de Feret — chercher à réduire l'eau de gâchage du béton pour augmenter le facteur $\frac{C}{E}$ mais cette réduction a une limite parce qu'il

faut que le béton conserve une certaine maniabilité, qualité importante en panneaux parce que c'est grâce à une maniabilité suffisante que l'on peut réaliser un bon enrobage des tubes, condition essentielle de bonne protection. Diverses méthodes pratiques permettent de repérer le mortier « maniable », sans trop.

Quand on parle de résistance d'un béton, on parle actuellement le plus souvent de sa résistance à la compression et les chiffres que l'on donne ne valent que pour un âge donné du béton (28 ou 90 jours en général), pour une éprouvette particulière (cubique en France) et pour

(1) D'après H. LOSSIER, « Le progrès et la sécurité », *Circulaire Institut Technique Bâtiment et Trav. Publics*, n° 18, 30 juillet 1942.

des conditions de moulage et de conservation spéciales. Les chiffres de résistance n'ont donc pas un caractère absolu et sont surtout des repères.

En outre il est pour nous beaucoup plus intéressant de connaître la résistance à la traction. Il y a en général une relation nette entre la résistance à la compression et la résistance à la traction — mais cette relation peut s'évanouir dans certains cas (par exemple agrégats à pellicule argileuse), et si l'on contrôle un chantier important de panneaux, ce sont des essais de traction que l'on doit faire.

Le fait qu'on ne tienne compte en général en France que de la résistance à la compression provient sans doute de ce que la résistance à la traction du béton est négligée dans la plupart des méthodes de calcul du béton (armé ou non) et en particulier dans les Règles B.A. 45. Mais c'est là un procédé de sécurité, car le béton armé ne pourrait en fait exister si le béton ne pouvait être tendu. Certains auteurs français, et certaines règles étrangères, tiennent d'ailleurs compte du béton tendu dans les calculs de béton armé. Mon intention n'est pas par là de critiquer les méthodes officielles, mais de montrer qu'elles sont difficilement applicables au cas des panneaux.

Je ne veux pas insister ici sur la résistance à la traction du béton, mais il y a tout de même un phénomène extrêmement important qu'on ne peut négliger : c'est le phénomène de plasticité. Supposons que nous appliquions une charge constante de traction sur une éprouvette de béton, les déformations comprennent deux parties : d'abord une partie instantanée et élastique, puis une déformation lente — plastique — qui subsiste après suppression de la charge. Ceci n'est qu'un schéma et nous verrons tout à l'heure avec plus de précision ce qui se passe, mais il faut comprendre qu'il y a une sorte de réorganisation du matériau qui fait que si la mise en traction a lieu par exemple sous l'action d'un écartement des extrémités d'une dalle, la déformation plastique réduit progressivement les contraintes de traction. Ces déformations plastiques ne sont pas toujours favorables en résistance des matériaux, mais dans le cas de nos panneaux elles le sont. Je ne veux pas dire que la plasticité permet aux panneaux de supporter n'importe quel effort, mais il est incontestable que ce phénomène peut jouer un rôle important.

La résistance à la traction du béton varie de 20 à 30 kg/cm². Pour le béton dosé à 350 kg le règlement B. A. 45 prévoit (compte tenu d'un coefficient de sécurité de 1/0,28) une résistance de 6,6 kg/cm².

Retrait.

Une pièce de béton exposée à l'air subit une diminution de volume qui augmente avec le temps. Ce retrait ⁽¹⁾ est dû (très probablement) à l'évaporation de l'eau qui imprègne la masse de béton frais. Deux conditions apparaissent dès lors indispensables pour limiter le retrait : utiliser le moins d'eau de gâchage possible (mais nous avons vu qu'il y a une limite pratique à ce principe) et protéger le béton contre une dessiccation trop intense. Or il est certain que cette dernière condition ne peut réellement être respectée dans un panneau chauffant, et qu'il y

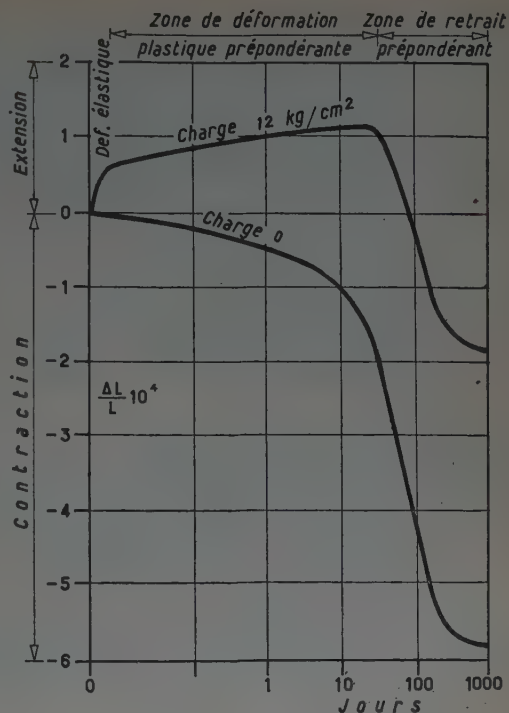


FIG. 31. — Déformation d'une éprouvette sous charge de traction (d'après R. L'HERMITE, *Annales de l'I. T. B. T. P.*, n° 45, 25 p., 1942).

aura alors un retrait plus accusé que pour un voile extérieur en béton par exemple.

Le retrait est important parce que, dans les conditions les plus générales, il provoque — les pièces n'étant pas normalement libres de se déformer — des efforts de traction dans le béton qui s'ajouteront aux efforts de dilatation des tubes. Il arrive même qu'avant toute application de charge et tout chauffage, le béton se fissure sous l'action du simple retrait. Cela situe l'importance des contraintes provoquées par ce phénomène.

Dans une pièce en béton soumise à un effort de traction continu, le retrait finit dans certain cas par s'opposer à la déformation statique. C'est ce que montre la figure 31. Alors que pendant les cent premiers jours la pièce est plus longue qu'à son état initial, elle se raccourcit ensuite, malgré un effort soutenu de traction assez important.

Le calcul des tensions de retrait est assez difficile. Ces tensions sont dues à la déformation Δ , différence entre la déformation de la pièce libre et la déformation effective. Dans le domaine élastique, la contrainte est proportionnelle à Δ , mais dans la réalité le calcul est complexe parce que le coefficient d'élasticité varie et surtout parce que les phénomènes plastiques jouent un rôle important, pratiquement peu susceptible de calcul. En outre, intervient le mode de fixation des panneaux et les déformations de l'ensemble des structures qui sont souvent difficiles à évaluer. Aussi faut-il considérer qu'il intervient un grand nombre de phénomènes complexes, et qu'un résultat même expérimental ne peut donner que des renseignements limités.

⁽¹⁾ Pour plus de détails, voir : R. L'HERMITE, « Le retrait des ciments mortiers et bétons », *Annales de l'I. T. B. T. P.*, n° 251, 2 juin 1947.

Adhérence.

Un phénomène extrêmement important, fondamental pour le béton armé, mais aussi pour les panneaux de plafond, est l'adhérence ⁽¹⁾ entre l'acier et sa gaine de béton. Il y a dans le phénomène d'adhérence une phase élastique (déplacement du tube dans sa gaine proportionnel à la force) et une phase plastique. C'est là encore, et pratiquement, la seconde phase qui joue le rôle essentiel. Il peut d'ailleurs ne pas y avoir rupture d'adhérence pour des déplacements considérables du tube dans le béton, par exemple 20 mm sur une longueur de 20 cm. L'adhérence se chiffre par des valeurs de l'ordre de 15 à 25 kg/cm² voisines de la résistance à la traction du béton. Ces chiffres valent pour les tubes froids, mais il y a sans doute des valeurs plus élevées avec des tubes chauds, car ceux-ci provoquent des pressions radiales sur la gaine de béton.

Il n'y a pas à notre connaissance de cas où on ait constaté en chauffage par panneaux de rupture d'adhérence, et lorsque les tubes sont bien enrobés, ils viennent collés au béton si on détruit le panneau. La rupture d'adhérence n'est donc pas en général à craindre, mais cette adhérence provoque — si le tube se dilate plus que le béton — des efforts de traction sur ce dernier qui sont, ainsi que nous l'avons déjà dit, la source de fissurations.

Nous ferons également remarquer que la résistance au cisaillement du béton étant de l'ordre de grandeur de l'adhérence, il n'y aura pas non plus cisaillement du béton s'il n'y a pas rupture d'adhérence.

Dilatation et fissuration.

Supposons qu'un tube soit enrobé dans un panneau à 20° C et qu'il soit porté subitement à la température (20 + θ)° C, il y aura une dilatation brutale du tube qui transmettra au béton (qui ne s'échauffe que lentement) des efforts divers. Ce sont là les conditions les plus sévères pour la plupart des éléments du panneau, car lorsque le panneau se réchauffe les effets de dilatation du béton compensent les efforts de traction du tube. Cela n'est toutefois pas exact dans les zones en compression, et nous y reviendrons tout à l'heure.

Prenons d'abord le cas schématique du tube non buté aux extrémités. Soit $E_a = 2 \cdot 10^6$ le coefficient d'élasticité de l'acier, $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ son coefficient de dilatation, $E_b = 3 \cdot 10^6$ le coefficient d'élasticité du béton. La contrainte de l'acier dans sa gaine supposée se déformer élastiquement sera :

$$n_a = \frac{E_a E_b \alpha \Sigma}{E_b \Sigma + E_a s} \theta \simeq E_a \alpha \theta = 24 \theta$$

(Σ et s étant respectivement la section de la gaine de béton et la section d'acier; on a avec le tube de 15/21 : $s = 16$ et $\Sigma = 3,55$). La contrainte dans le béton est :

$$n_b = \frac{s}{\Sigma} n_a \simeq 11 \theta.$$

On constate que cette contrainte dans le béton dépasse rapidement la résistance de traction. On passe donc obligatoirement dans le stade plastique, et même en pratique lorsqu'on n'atteint pas le stade de la rupture

totale on parvient au stade des fissurations. Il s'agit de savoir si ces fissurations vont être dangereuses.

Pour cela nous opérerons par analogie avec le béton armé grâce au raisonnement suivant. On admet comme valeur limite de contrainte des armatures : 2 500 kg/cm², donnant des fissures de l'ordre de quelques dixièmes de millimètre ⁽¹⁾, valeur ne présentant pas de danger pour la conservation des fers. Or, il est facile de voir qu'une telle contrainte ne peut se produire dans notre cas précédent, même si l'eau bout ($\theta = 80^\circ$ C). Or une contrainte de 25 kg/mm² sur notre tube serait sans doute moins dangereuse que la même contrainte dans une barre pleine, car cela correspond à un effort de traction moins important sur le béton. En outre, la contrainte que nous avons calculée est inférieure à la contrainte réelle, car le béton en se fissurant réduit les efforts.

C'est dire finalement que si le choc de température peut effectivement fissurer le béton, il ne le fissure pas dans des proportions nuisibles, à supposer que l'on néglige les autres contraintes de traction. Si le tube est à la face supérieure du plancher (chauffage par le sol) il en est bien généralement ainsi, mais si le tube est au plafond les efforts de dilatation viennent s'ajouter aux charges statiques (et au retrait) : il y a alors évidemment une limite à ne pas dépasser.

Dans la réalité il est indispensable de tenir compte du rôle joué par les butées aux extrémités du tube. En fait le calcul montre que l'effort de traction reste bien voisin de $n_a = 24 \theta$, et la contrainte moyenne sur les butées est alors :

$$n_b = \frac{36}{\delta + 2,1} \theta$$

où δ est l'écartement des tubes et n'est jamais inférieur à 20 cm. On a donc :

$$n_b > 1,6 \theta.$$

Il faut d'ailleurs remarquer que cette *contrainte de compression* sur les butées n'est pas réduite lorsque le béton est chaud, car les butées tendent alors à se dilater et sont en général gênées en cela par leurs liaisons. Si nous admettons pour le béton dosé à 300 kg de ciment par mètre cube de béton, un taux de compression limite de l'ordre de 55 kg/cm², on aurait une valeur limite pour θ de l'ordre de 35° C, ce qui conduirait à prendre 55° C (20 + 35) comme température limite de l'eau des panneaux. Mais en fait le béton subit des efforts de traction dus au retrait et des efforts de compression (sol chauffant) ou de traction (plafond chauffant) dus aux charges statiques qui modifient les contraintes dans un sens variable selon les cas particuliers. Si le panneau du sol est en dalle séparée, on peut admettre d'ailleurs des taux de travail nettement plus élevés; de même si les tubes sont dans la dalle de compression, le dosage est plus élevé et le taux de travail maximum également, si bien qu'on peut parfaitement adopter en sol chauffant la température limite de 60° C dans les dalles de compression et 90° C dans les dalles rapportées dosées à 350 kg de ciment.

Les contraintes sur butées que nous venons d'analyser n'exercent pas seulement des efforts de compression, mais également de cisaillement (en bout de serpent). L'effort de cisaillement dépend en grande partie des dimensions des butées. Si l'on donne aux caractéristiques géomé-

⁽¹⁾ Pour plus de détails, voir : L.-P. BRICE, « Adhérence des barres d'acier dans le béton », *Annales I. T. B. T. P.*, n° 179, mars-avril 1951; A. BICHARRA, « Étude du problème de l'adhérence dans le béton armé », *Cah. Bâtiment*, n° 117 et 127, 1951.

⁽¹⁾ Pour plus de détails, voir R. CHAMBAUD, « Théorie élasto-plastique de la flexion dans les poutres en béton armé », *Annales I. T. B. T. P.*, n° 101, novembre 1949.

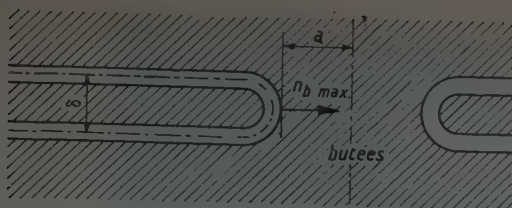


FIG. 32. — Étude statique des serpentins.

triques les valeurs précisées à la figure 32, et en calculant le poinçonnement conformément aux règles du béton armé (B. A. 45, article 3,48) on trouve $t = \frac{19,2}{a(a+12)} \theta$.

Pour de faibles valeurs de α , de l'ordre de 20 cm par exemple, on aura $t \simeq 0,03 \theta$. Comme on ne doit pas dépasser avec un béton dosé à 350 kg la limite de $6,6 \text{ kg/cm}^2$, il vient $\theta < 220$, condition évidemment respectée.

Armatures chauffantes.

Les considérations précédentes et les calculs approchés que nous avons faits permettent de donner des règles assez simples pour les sols chauffants. Il n'en est pas de même pour les plafonds chauffants où les efforts de traction dus aux efforts statiques s'ajoutent aux effets de dilatation. C'est le cas des armatures chauffantes, pour lesquelles on doit faire une étude statique, que les tubes soient pris en compte ou non dans le calcul de résistance mécanique. Le fait qu'on peut utiliser les tubes comme armatures dans certaines limites — fait aussi bien expérimental que théorique — prouve que la solution des tubes enrobés en plafond dans le béton peut être une solution viable. Elle est de plus intéressante puisqu'elle peut conduire à des économies d'acier importantes, mais elle exige évidemment une certaine compétence.

Les premiers essais systématiques sur armatures chauffantes, en dehors de ceux qui furent effectués en Hollande pour la mise au point, furent les essais effectués en 1938-1939 en Allemagne ⁽¹⁾. Les résultats peuvent être résumés ainsi : dans un panneau où il y a de fréquentes mises en température suivies, après quelques heures, de refroidissement, il y a plus de fissures que dans un panneau non chauffé. Je ne reproduirai pas ici le détail des résultats, mais je voudrais insister un peu sur ce point qui risque d'inquiéter les techniciens. Il s'avérerait en effet que le nombre et la longueur totale des fissures étaient plus élevés avec un panneau chauffé périodiquement, la longueur totale des fissures étant après 35 cycles de chauffage, de l'ordre de 1,9 m avec un plancher à armatures chauffantes, alors qu'elle n'était que de l'ordre de 1 m avec un plancher en béton armé ordinaire. Mais il faut noter — et c'est ce qui est le plus important — que les fissures restaient très fines (en moyenne moins de 0,1 mm) même après chauffage avec de l'eau à 70° C et charge égale au double de la charge limite. Or ce n'est ni le nombre ni la longueur des fissures qui compte... à tel point que M. CAQUOT pouvait dire récemment — et sous certaines conditions ⁽²⁾ — que quarante fissures valent mieux que quatre, si cela réduit leur épaisseur. Ce n'est

donc pas la fissuration en elle-même qui pourrait être gênante, mais sa répercussion sur la flèche, laquelle passait dans les essais allemands de 5 mm (plancher non chauffant) à près de 8 mm (plancher chauffant). Je ferai en outre remarquer que ces essais montraient que la charge de rupture était la même dans le plancher chauffé et dans le plancher non chauffé. Il n'en ressortait pas moins que, surtout au début, il fallait éviter les mises en température rapides. La chambre de police de Dusseldorf avait alors mis les conditions suivantes à l'utilisation des armatures chauffantes :

1° L'eau de chauffage doit être contrôlée et ne doit pas provoquer de rouille. La vidange et le remplissage ne doivent être effectués qu'avec autorisation, et l'entrée d'air dans les réseaux doit être soigneusement évitée. L'eau ne doit pas dépasser 50° C.

2° Les tubes doivent être en acier doux Thomas, très soudable.

3° Les armatures pleines doivent pouvoir supporter les charges et les moments sans atteindre la limite d'écoulement de l'acier en cas de mise hors service des tubes — condition d'ailleurs facile à réaliser.

Plus récemment de remarquables essais, beaucoup plus complets que les essais allemands, ont eu lieu en Suisse ^(*), à la fois sur des panneaux de laboratoire et sur des installations existantes, lesquelles datent maintenant de plus de 15 ans (bâtiments construits en 1936-1937) et réalisés suivant le procédé Sulzer. Je me contenterai de dire qu'ils confirment dans l'ensemble les résultats allemands. Les conditions dans lesquelles on peut utiliser les armatures chauffantes sont précisées dans le dernier rapport de Zürich (1949), et, étant donné l'autorité de ce laboratoire et de son président-directeur, le professeur Roß, je ne pense pas qu'il y ait lieu de chercher à en donner d'autres pour le moment.

Les figures 33 et 34 montrent le résultat d'un bombardement sur le musée de Schaffouse en 1944, alors que l'installation (réalisée en 1936-1937) avait 7 ans d'âge. La tenue du plancher à armatures chauffantes a été excellente, et on ne pourrait vraiment attendre mieux d'un quelconque plancher en béton armé normal. C'est ce qui, avec d'autres excellents résultats, a conduit le laboratoire de Zürich en 1949 à augmenter les charges admissibles dans les planchers à armatures chauffantes. Pour un panneau dans lequel la moitié de la section d'acier est en tube, on peut réduire la section des armatures de 35 % par rapport à ce qu'elle serait si on ne prenait pas les tubes en compte. C'est une économie extrêmement importante, si l'on a su par ailleurs pousser les études de façon à ce que la mise en œuvre des armatures n'entraîne pas de complication de chantier, ce qui est parfaitement possible. J'insiste sur ce chiffre de 35 % d'économie d'armature, car on cite quelquefois le chiffre de 10 % (qui est celui qui correspondrait aux premières règles adoptées par Roß), et je pense que ce chiffre montre que le principe des armatures chauffantes peut devenir dans notre pays, qui est celui du béton armé, une solution technique élégante et heureuse pour bien des réalisations. Il est absolument nécessaire que les bureaux de contrôle soutiennent cette technique qui a paru — comme celle du béton armé d'ailleurs — audacieuse à ses débuts, mais qui est finalement très intéressante.

(¹) Voir O. GRAFF, « Über die Verwendung von Deckenheizungen als Bewehrung der Eisenbetondecken », *Beton u. Eisen*, **38**, 333, 1939; P. SCHREIER, « Versuche mit Rohren von Deckenheizungen als Bewehrung von Eisenbetondecken », *Beton und Eisen*, **38**, 345, 1939; von SARTORIUS, « Die erstmalige baupraktische Ausführung und konstruktive Durchbildung der Deckenheizung als Bewehrung in Grossdeutschland », *Beton u. Eisen*, **38**, 352, 1939.

(2) Voir L. P. BRICE, « Adhérence des barres d'acier dans le béton », *Annales I. T. B. T. P.*, n° 179, mars-avril 1951.

(³) M. Roš, « Bewehrte Betondecken mit Strahlungsheizung » *Labor. Fed. Essais* Zurich, Ber. N. 134, 1941; Diskussion, Beilage z. E. M. P. A., Ber. N. 134, 1952; Ergänzung 1941-1949, 1949.



FIG. 33. — Musée de Schaffouse (1936-1937). Action d'une bombe sur un plancher chauffant.
Vue extérieure (d'après E. M. P. A., Ber. 134, 1949).

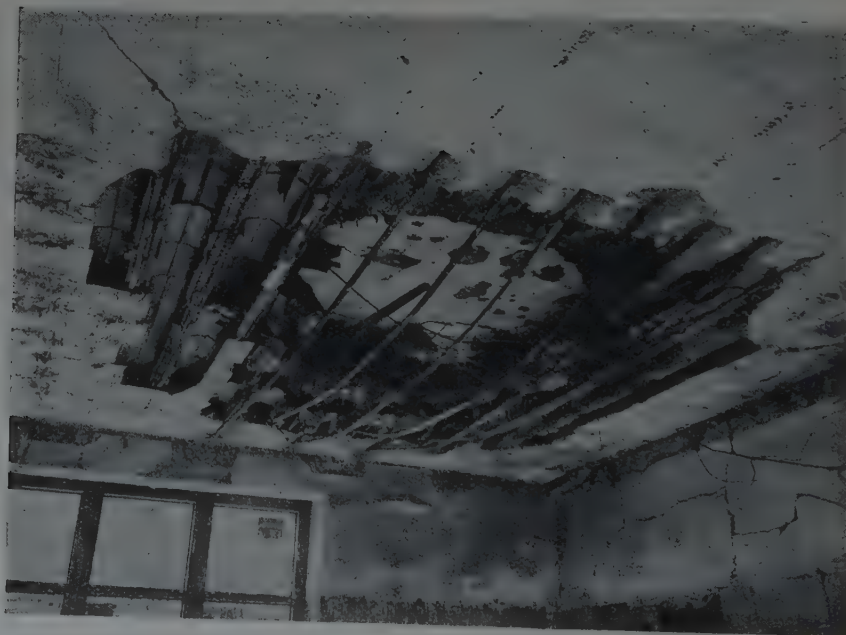


FIG. 34. — Musée de Schaffouse (1936-1937). Action d'une bombe sur un plancher chauffant.
Vue intérieure (plancher haut, rez-de-chaussée) (d'après E. M. P. A., Ber. 134, 1949).

Conclusions.

Après avoir parlé de questions si diverses, il m'est évidemment difficile de tirer une conclusion simple et unique. J'espère en tous cas vous avoir montré que la technique du chauffage par rayonnement fait appel à un grand nombre de connaissances, et qu'elle exige de ce fait une grande compétence, une grande conscience professionnelle et une certaine expérience.

Il ne s'agit pas là d'une technique figée. De nouveaux brevets apparaissent constamment, et bien que beaucoup soient nettement trop complexes pour être intéressants, de nouvelles techniques telles que les bétons à haute conductibilité, les liquides de chauffage autres que l'eau,

les tubes en matière plastique, les ciments expansifs, etc., pourraient apporter à plus ou moins brève échéance de nouvelles possibilités. Il est incontestable à mon avis que le chauffage par rayonnement peut se présenter maintenant comme l'un des systèmes de chauffage essentiels, et il est regrettable que des erreurs de réalisation aient pu faire croire à certains maîtres d'œuvre que c'était un système dangereux. La meilleure preuve en est que les architectes et maîtres d'œuvre qui en ont pris l'habitude et qui s'adressent à des installateurs valables, ne veulent bientôt plus connaître — sauf cas exceptionnel — d'autre système.

CONCLUSION DU PRÉSIDENT

Je félicite notre jeune ami de sa conférence si brillante et si documentée. Je n'ai pas besoin de vous dire que M. CADIERGUES est un pionnier convaincu du chauffage par rayonnement.

DISCUSSION

A la suite des exposés sur le chauffage par rayonnement, et à la fin des journées, une discussion extrêmement longue s'est engagée entre les conférenciers et les assistants. Nous ne donnons ici qu'un résumé des différents points de vue.

Température maximum du sol.

Un désaccord apparent entre M. GINI, qui prétendait que la température maximum de sol est plus faible dans les immeubles de luxe (plus chauffés) et M. CADIÈRGUES, qui prétendait que la température de sol est assez indépendante de la température d'air, a été résolu par le fait que le dernier orateur se plaçait dans les conditions normales (15-16 à 21-22° résultants). Le Président signale l'accord général de M. ADLAM avec les limites données par M. CADIÈRGUES dans sa conférence.

Il ajoute toutefois qu'il ne lui semble pas exclu qu'il se produise une sorte de compensation des pertes thermiques entre les pieds et l'ensemble du corps. Ceci justifierait l'opinion de M. GINI que l'on peut accroître la température du sol dans les locaux peu chauffés, à 10°C par exemple. Pour terminer le Président demande aux techniciens de se pencher sur le problème et de lui faire part, le cas échéant, de leurs observations pratiques et méthodiques sur ce sujet fort important.

Inertie.

Une très longue discussion provoquée par M. ZANIROLI sur l'inertie du chauffage par rayonnement a révélé des positions contradictoires. Plusieurs praticiens ont déclaré qu'un chauffage par le sol était souvent plus facile à conduire qu'on ne pourrait logiquement s'y attendre. De nombreux interpellateurs ont en fait repris ce qui figure déjà dans les conférences et nous ne le répéterons pas.

Nous donnons ci-dessous les interventions de MM. NESSI et DUPUY.

M. NESSI. — A propos de la conférence de M. ADLAM sur le rayonnement, le conférencier a fait allusion aux difficultés de la conduite automatique des installations dans le cas de panneaux enrobés dans le béton. Je dois vous signaler que je présenterai prochainement, au quatrième Congrès du chauffage industriel qui se tiendra à l'automne prochain, au nom du Comité Technique, une communication où se trouve donnée la solution du problème de la conduite automatique dans ce cas, en même temps qu'un certain nombre d'exemples pratiques d'application. L'étude montre qu'il est possible de tracer la courbe de température de l'eau de circulation en fonction des courbes de températures intérieure et extérieure; des conditions spéciales sont réalisées pour obtenir un programme de température donnée et la méthode permet de juger à priori si le programme envisagé est possible. C'est donc fort intéressant.

A un autre point de vue je ferai observer qu'on ne se soucie pas assez de mesurer l'effet des panneaux chauffants sur les parois des locaux, dans le chauffage par rayonnement. La mesure des températures de l'air et des parois ne suffit pas. J'estime qu'il faut surtout mesurer les flux de chaleur reçus ou émis par les parois. En France, des appareils ont été construits pour la mesure de ces flux en régime discontinu, mais ils n'ont encore reçu que

très peu d'applications. Il est à désirer que l'emploi de ces appareils de mesure de flux de chaleur puisse se développer; il est en effet nécessaire d'opérer la vérification expérimentale des théories plus ou moins complexes auxquelles on se réfère actuellement, non seulement en laboratoire, mais surtout dans les installations en fonctionnement.

Enfin, à propos de la quantité de chaleur reçue de l'extérieur d'un bâtiment, je rappellerai que la méthode expérimentale très simple, qui a été exposée dans notre rapport n° 5 du Comité pour la mesure des quantités de chaleur solaire pénétrant à l'intérieur du bâtiment en fonction du temps, permet, par le simple relevé des températures extérieure et intérieure, de déterminer ces quantités pendant plusieurs jours consécutifs, de dresser des températures virtuelles, donc de donner la quantité de chaleur reçue par le bâtiment à chaque instant.

Le même rapport indique la méthode de détermination de cette quantité de chaleur d'après le diagramme de radiations solaires donné par l'O. N. M.

A l'occasion de ce qui a été dit au sujet du chauffage intermittent, je ne puis que confirmer le fait que l'économie résultant d'un fonctionnement intermittent peut être dans certains cas moins sensible avec l'emploi de panneaux rayonnants qu'avec des radiateurs. Il est souvent impossible dans le premier cas, celui des panneaux, d'obtenir un abaissement d'air intérieur suffisant pendant la période de non-occupation des locaux pour rendre appréciable l'économie d'exploitation qui doit en résulter.

En ce qui concerne la conférence de M. KOLLMAR, je dirai ceci : l'auteur a envisagé le cas d'un chauffage par rayonnement avec montée rapide de la température de l'air intérieur. Je lui ferai remarquer qu'alors il ne faut pas oublier de tenir compte de la température intérieure des parois qui peuvent être longues à se réchauffer.

Je rappellerai que dans le cas d'un chauffage discontinu on peut calculer ces températures suivant le temps et déduire ensuite les températures moyennes résultantes, pour un point choisi dans le local chauffé. Ce calcul fait apparaître l'intérêt de revêtements légers et cela nous rappelle les lambris de bois qu'employaient nos aïeux pour rendre leurs habitations confortables.

Sur ce qu'a dit M. GINI j'aurai quelques remarques à faire. M. GINI a parlé des températures moyennes de parois. Celles-ci dépendent du point de référence choisi et elles varient constamment. On peut d'ailleurs les calculer pour une variation de température donnée, intérieure et extérieure, et en ne tenant pas compte des états de rayonnement des surfaces chauffées. M. GINI dit qu'en Italie l'inertie du bâtiment est toujours plus grande que celle des panneaux chauffants. Il n'en est pas toujours ainsi en France. Il est donc nécessaire pour nous de procéder à l'étude dont j'ai parlé précédemment. On aura en même temps intérêt à calculer les effets possibles de l'ensoleillement d'après les relevés, et on évitera dans certains cas une surchauffe anormale des locaux qui les rendrait inhabitables certains jours.

Ces études n'aboutissent qu'à un schéma plus ou moins précis des phénomènes réels. Elles peuvent être complexes, mais à notre avis elles doivent être faites avant la construction du bâtiment et servir à la conception de l'installation de chauffage. Je

sais bien par expérience que les services techniques d'architecture et les bureaux d'études des installations ne sont pas toujours organisés pour ce genre d'étude. C'est pourquoi je tiens à signaler l'aide précieuse que peut leur fournir le Comité Scientifique et Technique de l'Industrie du Chauffage et de la Ventilation. La centralisation opérée par cet organisme des solutions obtenues par la résolution d'un nombre croissant de problèmes complexes peut, par application des principes de similitude, apporter dans l'avenir une grande simplification aux études qu'il est nécessaire d'entreprendre lors de la recherche de la meilleure conception à adopter pour le chauffage des bâtiments et pour le choix des matériaux de construction.

M. DUPUY. — Je voudrais attirer l'attention au sujet de ces problèmes de conduite, d'intermittence, de discontinuité.

Il est indispensable, lorsqu'on parle de la possibilité de réglage d'un chauffage ou de son adaptation au régime discontinu ou intermittent, de bien marquer une distinction que j'ai été amené à formuler depuis quelques années et notamment dans ma conférence au Cycle de Chauffage de l'an dernier : il en est de même lorsqu'on parle de la « lourdeur » du bâtiment, ou plutôt du local.

Il faut distinguer, en ce qui concerne le local, ses sensibilités de pénétration, dont dépendent les variations du flux entrant pour des variations données des conditions extérieures (température d'air et rayonnement) et sa sensibilité interne, dont dépend l'effet sur la température intérieure de toute variation des flux pénétrant ou émis dans le local. Les sensibilités de pénétration sont déterminées par les parois extérieures et le renouvellement d'air : dans la détermination de la sensibilité interne toutes les parois interviennent et les parois intérieures sont généralement prépondérantes.

De son côté, l'équipement thermique a sa sensibilité propre, qui traduit en variations de flux émis les variations commandées à la chaufferie.

D'autre part, il faut distinguer le rôle réactif et le rôle variateur de l'équipement. Le premier a pour objet de répondre aux variations extérieures et d'en annuler les effets; le second doit réaliser les variations voulues par nous, fixées par notre programme.

Les variations extérieures ne dépendent pas de notre volonté et ne sont jamais complètement prévisibles. Il nous est possible de réagir contre elles, si la sensibilité propre de l'équipement est au moins équivalente aux sensibilités de pénétration; mais un équipement peu sensible est impuissant à réagir si les sensibilités de pénétration sont grandes, notamment si le local est fortement vitré et si les variations extérieures sont rapides. Dans ce cas, une faible sensibilité interne du local est favorable : freinant impartialement l'action des variations extérieures et la réaction de l'équipement, elle atténue la différence qui résulte de leur déséquilibre.

Pour le rôle variateur de l'équipement les choses se présentent d'une manière assez différente. Nous savons d'avance que nous voulons obtenir à telle heure la température désirée pour la période d'occupation. Nous pouvons donc nous y préparer et mettre en jeu la puissance nécessaire au moment voulu. Le manque de sensibilité de l'équipement ne fait alors qu'augmenter les temps d'échauffement et de refroidissement. Mais quelle que soit la sensibilité de l'équipement, une faible sensibilité interne du local freinerait l'opération à son tour, pour un chauffage par panneaux comme pour un chauffage par radiateurs, et constituerait de ce point de vue un facteur défavorable.

Calcul.

En réponse à M. MARCQ qui n'estimait pas rationnel le procédé de calcul d'émission faisant intervenir la différence de température entre fluide chauffant et ambiance, M. CADIERGUES précise que cette façon de procéder, anormale a priori, est en fait valable et simple.

Air chaud.

A M. ZANIROLI qui regrette que M. ADLAM n'ait pas parlé du chauffage par rayonnement à air chaud combiné avec la ventilation, M. CADIERGUES explique que le conférencier n'en a sans doute pas parlé parce qu'il sait que ce système est peu utilisé en Europe. Ce procédé se développerait en Espagne sous l'impulsion de M. BOILEAU.

Enduits et revêtements.

A M. MISSENAUD qui demande si un auditeur peut faire profiter de son expérience sur les enduits, M. DUPRÉ précise que le seul revêtement de plafond acceptable est celui donné par M. ADLAM.

Une longue discussion a lieu ensuite sur les revêtements de sol, en particulier thermoplastiques. M. FOURNOL cite les essais en cours du C. S. T. B., M. CADIERGUES renvoie à la publication d'une discussion qui a eu lieu au Centre de Documentation du Bâtiment (100, rue du Cherche-Midi), qui sera publiée avec les exposés portant sur les revêtements proprement dits.

Fissuration.

Une longue discussion a eu lieu également sur les problèmes de fissuration. Les questions posées, en particulier par M. HERODY, trouvent en fait réponse dans l'exposé publié de M. CADIERGUES. M. GINI a confirmé qu'il n'y avait pas rupture d'adhérence entre tube et béton pour des conditions normales d'utilisation.

Documentation.

Sur cette question nous ne pouvons que reprendre les exposés d'interpellateurs.

M. B. TUNZINI. — Je voudrais revenir sur le problème de la recherche et de la diffusion de la documentation que M. CADIERGUES a évoqué tout à l'heure. J'en parle parce que j'estime que si l'audience est si importante aujourd'hui pour le chauffage par rayonnement, c'est, indépendamment de la qualité des conférenciers, à cause de l'intérêt même du problème.

M. CADIERGUES nous a dit quelques mots de la recherche aux États-Unis et en France. Je connais bien la recherche aux États-Unis; je suis d'accord avec lui en ce sens que j'estime que les résultats sont assez négligeables par rapport aux sommes dépensées. Mais il est un fait certain, c'est que ces résultats sont diffusés à l'ensemble de la profession, et je pense que c'est un élément essentiel de progrès. Parmi les auditeurs de cette salle je pense qu'il y en a beaucoup qui sont venus en se disant : « Je ne fais pas de chauffage par rayonnement; l'Institut Technique du Bâtiment a organisé ces réunions et je voudrais savoir si je peux en faire. » C'est un problème essentiel pour le développement du chauffage par rayonnement car, comme l'ont dit tous les conférenciers, on ne peut développer le chauffage par rayonnement que s'il est bien fait.

Il y a deux solutions : le limiter aux seuls initiés, ou permettre à des gens non initiés d'en faire. Je pense qu'il y aurait intérêt à diffuser les recherches et les méthodes de calcul ainsi que les méthodes de travail en matière de chauffage par rayonnement, de façon à permettre à toute maison sérieuse et consciencieuse de réaliser des installations. Vous avez dit, M. CADIERGUES, qu'il était normal que si des recherches étaient faites par des groupements elles ne soient communiquées qu'aux membres de ces groupements. Je crois que c'est une erreur, non seulement pour la profession, mais pour les groupements eux-mêmes, et j'exprime ici ma conclusion qui est la suivante : en matière de chauffage, comme d'ailleurs d'une façon générale pour toutes les matières techniques, il y a le plus grand intérêt pour la profession et pour les professionnels eux-mêmes à diffuser très largement tous les résultats des recherches.

D'ailleurs notre pays a toujours défendu dans le monde le point de vue que c'était de lui que partaient les idées et qu'il les diffusait librement. Je crois qu'en matière de chauffage nous devrions aussi le faire.

M. LE PRÉSIDENT. — Vous prêchez un convaincu et je ne vous cacherai pas qu'on m'a assez reproché d'avoir publié dans la presse technique trop de renseignements sur mes recherches, et que l'annonce de ces réunions n'a pas plu à tout le monde; c'est pourquoi j'ai souligné que pour la première fois en France, et peut-être au monde, les portes étaient ouvertes et que tout le monde pouvait venir écouter, sans bourse délier, ce qui se disait ici sur le rayonnement.

M. B. TUNZINI. — Étant donné l'intérêt qui s'est manifesté au cours de ces Journées pour le chauffage par rayonnement, étant donné qu'elles ont été placées sous l'égide de l'Institut Technique du Bâtiment qui les a organisées, j'aimerais connaître quel est le programme de recherche de l'Institut Technique du Bâtiment pour tout ce qui concerne le chauffage par rayonnement et, puisque M. FOURNOL est là, j'aimerais connaître, en matière de chauffage par rayonnement, le programme du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.

M. FOURNOL. — Le nerf de la paix, c'est l'argent. Des recherches plus importantes, et même peu importantes sur des questions aussi essentielles, demanderaient beaucoup d'argent. Je ne sais pas si nous en trouverons en quantité suffisante.

M. PARANEL. — Au nom de l'Institut Technique, je puis assurer qu'il est possible d'entreprendre l'étude d'un certain nombre de points dans la mesure où le programme est déterminé, parce que nous n'allons évidemment pas tout faire en un an, et les essais à réaliser sont très nombreux. Je crois qu'il s'agirait de les classer par ordre d'urgence et c'est une question qui pourrait, je pense, être étudiée assez rapidement. Nous avons quelques moyens financiers; par conséquent, il n'y a aucune raison pour ne pas aborder le problème immédiatement.

M. LE PRÉSIDENT. — Je crois que nous pourrions en profiter pour faire des essais en collaboration avec les autres corps d'état, et en particulier la maçonnerie.

M. PABANEL. — Il y a des essais qui peuvent être faits sur chantiers. Un certain nombre de nos confrères et de maîtres d'œuvres se mettront à notre disposition pour nous procurer des chantiers et des installations. Je crois que, pratiquement, c'est ce qu'il y a de plus utile et les moyens financiers seront, je crois, suffisants pour réaliser ces sortes d'essais.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

Série : SOLS ET FONDATIONS (IX).

CENTRE D'ÉTUDES SUPÉRIEURES

SÉANCE DU 13 NOVEMBRE 1951

SOUS LA PRÉSIDENTÉ DE **M. A. MAYER**, Ingénieur Général des Mines.
Vice-Président du Comité Français de Mécanique des Sols.

NOUVELLES RECHERCHES EN MATIÈRE DE STABILISATION DES SOLS

Par **H. F. WINTERKORN**,

Professeur à l'Université de Princeton (U. S. A.)

SOMMAIRE

	Pages.		Pages.
Généralités	935	Stabilisation à la chaux	939
Sol bitume	936	Stabilisation aux cendres volantes	939
Stabilisation aux résines naturelles ou synthétiques	936	Stabilisation thermique	939
Stabilisation des plages	937	Stabilisation électrique	939
Stabilisation à la colle	939	Conclusion	939

ALLOCUTION DU PRÉSIDENT

Je suis très heureux de vous présenter M. le Professeur WINTERKORN. J'ai fait sa connaissance en 1946, lors d'un voyage aux États-Unis, à une séance du *Highway Research Board*, c'est-à-dire du *Comité de Recherches Routières*.

J'avais dès cette époque été très frappé par la manière dont M. WINTERKORN abordait les problèmes techniques et qui était très différente de celle de la plupart des ingénieurs américains, dans un esprit beaucoup plus de recherche scientifique que d'application pratique. C'est cet esprit que vous retrouverez aujourd'hui, j'en suis sûr, dans la conférence que va vous faire M. WINTERKORN. Il a réussi certaines applications pratiques dont il ne manquera certainement pas de vous entretenir, en particulier sa mise au point la plus récente qui concerne la stabilisation du sable des plages lors de débarquements militaires. Il y a là une étude extrêmement intéressante que M. WINTERKORN vous exposera beaucoup mieux que je ne pourrais le faire, et qui complète par l'application la théorie qu'il a élaborée. Mais je ne veux pas anticiper sur ce qu'il va vous dire à ce sujet.

M. WINTERKORN a fait ses travaux aux États-Unis d'abord au Bureau de Recherches Routières de l'État du Missouri, ensuite comme professeur à l'Université de Princeton où il enseigne actuellement.

Je ne veux pas vous faire attendre plus longtemps le plaisir de l'entendre et je lui passe la parole.

RÉSUMÉ

La stabilisation d'un sol tend à le rendre carrossable, à l'imperméabiliser, ou à lui conférer une résistance durable à l'érosion. Elle s'applique aux routes, pistes d'envol, barrages, talus, etc.

Les méthodes de stabilisation varient avec la composition granulométrique et chimique du sol à stabiliser. Suivant les cas on emploie : le compactage, le béton d'argile, le sol ciment, le sol bitume, les stabilisations aux résines naturelles ou synthétiques, à la colle, à la chaux, par les cendres volantes, la stabilisation thermique ou électrique.

Parmi ces procédés, l'emploi du bitume et des résines synthétiques, en particulier des mélanges aniline-furfurol, semblent les plus économiques et les plus pratiques.

La stabilisation est utile dans tous les cas où le sol le permet et où l'apport et la mise en place de matériaux durs serait trop onéreux et trop longs. Elle fournit une solution particulièrement intéressante au problème militaire de l'aménagement rapide de pistes carrossables sur les plages de débarquement.

SUMMARY

The stabilization of a soil tends to make it suitable for vehicular traffic, impervious and erosion resistant. It is applied to roads, airport runways, dams, embankments, etc.

The methods of stabilization vary with the grain size and chemical composition of the soil to be stabilized. Depending on the particular case, the following may be used : compaction, clay, concrete, soil-cement, soil-bitumen; stabilization with natural or synthetic resins, glue, lime, light ash; thermal or electrical stabilization.

Among these processes, the use of bitumen and synthetic resins, particularly of the aniline-furfurol mixture, seems to be the most economical and the most practical.

Stabilization is useful in all cases where the soil allows of its use or where the transport and placing of hard materials would be too onerous and too long. It solves particularly well the military problem of quick laying out of serviceable roads on landing beaches.

Les thèses et la méthode d'exposition adoptées par les conférenciers et les personnes qui prennent part aux discussions peuvent parfois heurter certains points de vue habituellement admis. Mais il doit être compris que ces thèses et discussions, à l'égard desquelles l'Institut Technique ne saurait prendre parti, ne visent en rien les personnes ni le principe des Institutions.

EXPOSÉ DE M. WINTERKORN

Généralités.

C'est avec quelques hésitations que j'ai accepté de présenter à cette assemblée les résultats de mes recherches en matière de stabilisation des sols.

J'espère que la forme de mon exposé ne vous surprendra pas; j'ai cherché à clarifier quelques-uns des problèmes de ce domaine vaste et complexe en appliquant les méthodes du rationalisme. Formé dès ma jeunesse aux disciplines de la philosophie scientifique du grand Henri POINCARÉ, et suivant régulièrement les publications de votre Institut, je suis sûr que vous saurez apprécier ce qu'il peut y avoir de nouveau dans mes travaux.

J'espère que les considérations que je vais vous exposer retiendront votre attention et vous suggéreront des vérifications mathématiques et expérimentales permettant de leur donner cette forme esthétique de simplicité rationnelle qui est le propre de l'esprit français.

Si l'on excepte le cas des sables et graviers, que l'on peut considérer comme un mélange de leurs composants, il faut se souvenir que le sol est un système naturel possédant une véritable structure. La Pédologie peut alors fournir une importante contribution pour la solution des problèmes de stabilisation. L'analyse granulométrique nous conduit tout d'abord à distinguer différents cas, selon les dimensions des éléments constitutifs des sols.

Dans le cas des sables et graviers, les éléments sont simplement juxtaposés; cependant l'analogie entre l'état liquide et l'état physique du béton frais observée et analysée par M. R. L'HERMITE, a justifié l'hypothèse de EYRING-WINTERKORN qui considèrent les sables et graviers comme des liquides macromériques; cette hypothèse promet des applications pratiques importantes.

Les caractéristiques des limons sont intermédiaires entre celles des sables et des argiles. Les propriétés de ces dernières sont dominées par les facteurs physico-chimiques. Elles ne sont pas une simple sommation de celles des composants, car des questions de texture interviennent et l'existence d'un squelette interne entraîne des rapports volumétriques. Ainsi une proportion de 55 % de sable et gravier suffit pour constituer un squelette interne si la granulométrie est discontinue; il en faudra 65 % si la granulométrie est continue.

La stabilisation peut se définir comme étant l'ensemble des méthodes physiques, chimiques et physico-chimiques, employées pour améliorer un sol de façon à le rendre utilisable. Son domaine est donc extrêmement vaste puisqu'il comprend aussi bien les fondations de routes et pistes, l'imperméabilisation des digues en terre, que la stabilisation d'un talus contre l'érosion. En général, stabiliser signifie augmenter la qualité mécanique pour que les déformations non-élastiques soient faibles sous l'ensemble des sollicitations auxquelles le matériau est soumis. Les sols stabilisés sont rarement capables de donner des résistances mécaniques élevées et se com-

portent comme des ensembles pseudo-plastiques. Le frottement interne des sables et graviers peut être rapproché de celui des liquides: l'activation de ceux-ci sous l'effet d'une source d'énergie provoquant la cavitation correspond à un accroissement de volume que l'on retrouve dans le cisaillement du sable. L'énergie d'activation pour le sable ne sera évidemment pas d'ordre thermique; elle sera produite par la vibration ou des chocs.

Pour les sols cohérents la notion de matériau colla-méristique (colla = la colle, méros = la particule) permet de voir les conditions qui augmentent la résistance mécanique; ce sont:

1° L'augmentation de la compacité et l'ajustement de la granulométrie qui, en laissant de côté le gonflement de la partie argileuse, présente des analogies avec l'étude des bétons à granulométrie discontinue, et peut s'étudier en appliquant la formule de Feret.

2° L'addition d'un liant à un ensemble non cohérent qui peut conférer au stabilisé des propriétés plastiques ou élastomériques dues à la nature du liant, ou encore former des ensembles pseudo-plastiques si l'on est en présence d'un matériau à squelette interne.

3° L'obtention d'une stabilité de la résistance mécanique en dépit des facteurs climatiques.

Il y a trois groupes de méthodes de stabilisation des sols:

1° Le collage des particules par un liant inorganique. Cette méthode met en jeu les propriétés physico-chimiques des particules.

2° Le collage des particules par un liant organique. Le but de cette méthode est de diminuer l'affinité des particules secondaires pour l'eau et de les faire adhérer par un liant (aniline-furfural).

3° La protection de la cohésion naturelle due à l'eau par l'imperméabilisation. Ceci est réalisé, en particulier, avec le bitume; cette méthode est très importante dans la pratique.

Ces méthodes se traduisent par un certain nombre de techniques:

- Compactage;
- Béton d'argile;
- Sol-ciment;
- Sol-bitume;
- Stabilisation aux résines synthétiques ou naturelles;
- Stabilisation à la colle;
- Stabilisation à la chaux;
- Stabilisation par les cendres volantes;
- Stabilisation thermique;
- Stabilisation électrique.

Je n'aurai que peu à dire que vous ne sachiez déjà sur les trois premiers procédés de stabilisation, à savoir : le compactage, le béton d'argile et le sol-ciment; je rappelle simplement que, pour les sols-ciment, il est souvent utile de traiter préalablement le sol par des cations spécifiques pour rendre la stabilisation par le ciment plus efficace.

Je vais donc immédiatement vous parler des autres procédés de stabilisation.

Sol-bitume.

Les méthodes de production de sol-bitume peuvent être subdivisées en :

a) Sol cohérent-bitume (le bitume jouant le rôle d'agent d'imperméabilisation);

b) Sable au bitume (le bitume jouant le rôle de liant);

c) Béton d'argile imperméabilisé dans la masse par 2 % au moins de bitume;

d) Matériau naturel ou remblai imprégné par pénétration.

La théorie générale et la pratique de la stabilisation au bitume sont traitées en détail dans un bulletin spécial du *Highway Research Board*. Les facteurs physico-chimiques ont été étudiés spécialement dans les Laboratoires de l'Etat du Missouri entre 1930 et 1940. Les résultats principaux de ces recherches peuvent être condensés dans les énoncés suivants :

1° La stabilisation optimum nécessite une quantité minimum d'eau de malaxage.

2° La quantité de bitume nécessaire pour obtenir une stabilisation convenable augmente lorsque la proportion de silice par rapport aux sesqui-oxydes contenus dans l'argile augmente.

3° L'effet des matières organiques du sol peut être utile ou nuisible selon la nature pédologique du sol. Cet effet de la structure organique peut masquer l'effet de la composition chimique de l'argile.

4° Plus la valence des cations adsorbés est grande, plus un sol d'argile se stabilise aisément. On peut ainsi arriver à une stabilisation très satisfaisante pour certains sols naturels après traitement avec des sels ferriques et alumineux.

5° La quantité de bitume requise pour obtenir une stabilisation satisfaisante dépend de l'activité de la surface interne des particules secondaires, sans que celle des particules primaires ait une influence.

6° En l'absence de substances bactéricides, le bitume peut être détruit aisément par les microbes du sol, particulièrement quand le sol contient une quantité de chaux suffisante pour activer l'action microbienne.

7° Le pouvoir stabilisateur d'un bitume croît avec sa teneur en asphaltènes.

8° Les essais effectués sur un grand nombre de bitumes différents ont montré que les meilleurs résultats étaient obtenus avec des asphaltes de cracking et des goudrons de haute température; les produits asphaltiques normaux donnent des résultats moyens; les goudrons primaires sont les moins efficaces.

9° Pour les sols acides, on peut augmenter très notablement le pouvoir stabilisateur d'un bitume par addition de 1 à 2 % d'aniline-furfurole.

Les conclusions qui viennent d'être énoncées ne sont valables que pour un sol cohérent ne possédant pas de squelette interne.

S'il existe un squelette, le problème consiste à déterminer le pourcentage d'argile susceptible de donner une cohésion au mélange sans que, par gonflement, l'argile puisse rompre le squelette interne.

C'est ainsi que des essais effectués sur un matériau contenant 75 % de sable, 15 % de limon et 10 % d'argile (kaolinite, illite, ou montmorillonite) ont montré que la kaolinite ne s'opposait pas à la pénétration de l'eau, que l'illite gonflait en remplissant tous les vides, et que la montmorillonite brisait en gonflant le squelette du sol stabilisé.

Stabilisation aux résines naturelles ou synthétiques.

A. Généralités.

Les méthodes de stabilisation à la résine actuellement utilisées dérivent en pratique et en théorie de la stabilisation bitumineuse; par analogie, on distingue de la même façon :

— Le sable à la résine;

— Le béton d'argile imperméabilisé par de la résine;

— Le sol limoneux ou argileux à la résine.

Les matériaux résineux peuvent s'utiliser pour l'imperméabilisation, pour l'imperméabilisation jointe à la cimentation et pour la cimentation. La stabilisation à la résine s'emploie lorsqu'on désire obtenir une qualité de produit et un domaine d'application irréalisables avec d'autres matériaux, ou quand des considérations locales restreignent les quantités de matériaux qui peuvent être expédiées et utilisées.

Les substances résineuses utilisées pour l'imperméabilisation des sols cohérents (généralement moins de 1 % du poids total sec) sont, pour la plupart, dérivées des produits forestiers, comme par exemple, la cellophane, les copals de Manille, du Congo, de Kauri, etc., la graisse provenant de la fabrication du papier, vinsol, etc. Ces substances sont plus efficaces dans les cas de sols acides possédant une bonne granulométrie. Un exemple typique est le Résin 321, composé de trois parts d'acide abiétique et d'une part d'abiétate de soude. Pour obtenir le même effet avec le copal de Manille on doit effectuer une neutralisation à 50 %.

Le type de substance hydrofuge peut être une substance résineuse ou graisseuse. Naturellement, le mode de neutralisation doit varier d'un type d'acide à l'autre et même d'un sol à l'autre. En outre, il faut protéger ces substances contre l'attaque microbienne. Nous avons trouvé que le phénol pentachloré et ses dérivés partiellement neutralisés par la soude possèdent des propriétés bactéricides notables.

Parmi les résines synthétiques, celle qui donne les meilleurs résultats est la résine synthétique qui résulte de la réaction de l'aniline sur le furfurole à la température ambiante. C'est sur cette méthode qu'a été basé le durcissement des plages sableuses dont il sera question plus loin. La substance formée a un caractère résineux mais possède en même temps des qualités cationiques qui lui permettent d'intervenir par échanges de bases avec les argiles. En outre, cette substance s'emploie fort bien avec de nombreux ciments de caractère organique et inorganique, comme les ciments Sorel, pourvu que le matériau ait un caractère acide.

Un matériau organique qui possède des propriétés de cimentation ne modifiant pas la perméabilité est l'acrylate de chaux. Malgré de nombreuses expériences, l'usage de ce matériau n'a pas été généralisé car il s'avère actuellement moins économique que d'autres produits.

Une étude expérimentale des facteurs intervenant dans la stabilisation à base de substances résineuses partiellement neutralisées, ou du type aniline-furfurol, a conduit aux conclusions données ci-après :

1° Les deux types de stabilisation résineuse sont influencés par les facteurs physico-chimiques de la même manière que la stabilisation bitumineuse.

2° L'addition de quantités très limitées (1 à 2 %) d'aniline-furfurol au bitume augmente considérablement son pouvoir stabilisateur dans les sols acides.

3° Le degré de neutralisation et le dosage du produit stabilisateur dépendent de la proportion d'argile et du caractère et du nombre des cations échangeables. Il faut faire intervenir en outre les relations volumétriques.

4° La nature de l'argile a moins d'importance que le caractère des cations échangeables et que les impuretés organiques et inorganiques des minéraux argileux.

Dans les travaux à réaliser en temps de paix, il est en général préférable d'utiliser des stabilisateurs résineux en combinaison avec le bitume afin de remplir les vides avec une substance inerte.

En ce qui concerne le problème de stabilisation des plages de débarquement où le prix de revient n'a qu'une importance secondaire, on a jugé profitable pour la même raison d'employer des combinaisons de bitume avec l'aniline-furfurol au lieu de résine synthétique pure. Actuellement, il existe une gamme continue de compositions aniline-furfurol-bitume depuis un bitume contenant 1 à 2 % d'aniline-furfurol jusqu'à l'aniline-furfurol contenant quelques pour cent de bitume. A la place de bitume on peut utiliser l'asphalte, le goudron et d'autres produits analogues.

B. Cas particulier du mélange aniline-furfurol.

C'est en 1870 que STENHAUSE a constaté que l'aniline, le chlorure d'aniline et le furfurol formaient entre eux une résine synthétique de couleur pourpre et de formule chimique complexe.

Au cours de mes premières recherches sur la mécanique des sols, j'ai constaté l'importance de ces réactions dans la stabilisation des sols et j'ai donné le compte rendu des recherches faites à l'époque en 1938. L'aniline et le furfurol étaient alors disponibles aux États-Unis à des prix voisins de 10 cents la livre (80 F le kilogramme). L'importance de cette réaction correspond tout d'abord au fait que le produit est un cation organique à longue chaîne qui, par échange de base avec des argiles ou d'autres matériaux naturels, peut modifier le caractère de ceux-ci et réduire très sensiblement leur affinité pour l'eau. Du fait de sa structure moléculaire, cette résine a un grand pouvoir d'association avec de nombreux autres éléments de manière à produire un effet de cimentation efficace.

L'aniline et le furfurol sont liquides à la température ordinaire et peuvent être facilement répandus au jet et mélangés à des sols variant depuis des argiles jusqu'à des sables et graviers. Ces liquides ont, en outre, un grand pouvoir mouillant. Enfin, la réaction est exothermique. La résine peut donc se former en place, quelle que soit la température extérieure, et permet une liaison solide

entre le cation aniline-furfurol et les éléments minéraux dont elle doit assurer la liaison. Les essais ont montré que la proportion la meilleure était le mélange en poids de 1,94 d'aniline pour 1 de furfurol ou en volume : 2,2 d'aniline à 1 de furfurol à 20° C. Comme il est difficile, notamment sur les chantiers, d'avoir des mélanges en proportions rigoureusement constantes, il est intéressant d'introduire dans le mélange une substance qui peut absorber un excès d'aniline sans changer la consistance du ciment résultant. Parmi ces substances la plus commode est le brai à condition de prendre un brai à point de fusion supérieur à 100° C. L'avantage de ce brai est qu'il se mélange en toutes quantités avec la résine d'aniline-furfurol et que son prix est dix fois moindre que celui des deux autres composants.

L'allure de la réaction aniline-furfurol peut être accélérée par des catalyseurs tels que : chlorure ferrique, chlorure d'aluminium, chlorure d'aniline et pentachlorophénol. Ces éléments ne sont en général ajoutés qu'à raison de moins de 5 % du volume d'aniline. L'accélération de la réaction est surtout nécessaire dans le cas où on veut stabiliser un matériau basique tel qu'un sable calcaire. Il faut dans ce cas employer un catalyseur acide qui forme un sel insoluble avec le carbonate de calcium. Ce sel recouvre les grains de carbonate d'une pellicule qui les protège de l'attaque ultérieure des acides. Comme corps à réaction acide susceptible d'être utilisé à cet effet, on peut citer en particulier le pentachlorophénol, le polystyrène ou des gommages synthétiques à base de styrène.

Stabilisation des plages.

La stabilisation des plages a une grande importance au point de vue militaire. Lors de nombreux débarquements, la Marine militaire américaine a souffert des pertes élevées parce que les véhicules lourds s'enfonçaient à l'arrivée sur les plages et s'immobilisaient dans le sable. Le mode de stabilisation à choisir dépend essentiellement de la qualité du sable à stabiliser. Lorsqu'il est possible de disposer d'échantillons, il est bon d'effectuer sur ceux-ci un certain nombre de déterminations. On mesurera en particulier la granulométrie, le coefficient d'uniformité et la forme des éléments constitutifs du sable. On recherchera sa composition chimique et la surface par unité de volume du matériau compacté, la teneur en eau du matériau naturel et son volume des vides. S'il n'est pas possible d'obtenir des échantillons, les reconnaissances aériennes et la connaissance que l'on peut avoir de la nature du sol permettent de diviser les sables en trois types, tout d'abord :

- Les sables quartzitiques courants sous nos climats;
- Les sables volcaniques comprenant :
 - D'une part les cendres et matériaux légers;
 - D'autre part les éléments granitiques;
- Enfin les sables calcaires que l'on trouve surtout dans le Pacifique.

L'application de la formule de Feret :

$$S = \left(\frac{K \times c}{1 - s} \right)^N$$

permet de calculer la résistance de matériaux stabilisés.

Dans cette formule S est la résistance à la compression du matériau considéré, K et N sont des constantes qui



FIG. 1. — Épandeur compacteur du malaxeur routier Wood.



FIG. 2. — Piste faite avec la machine routière Wood.
Essai de charge.



FIG. 3. — Détail de l'essai d'une charge de 18 t après 8 heures de prise.

diffèrent avec le type de sable utilisé, c est le pourcentage en volume du liant par rapport au volume total des matériaux stabilisés; s est le rapport du volume d'agréats au volume total.

En réalité, le pourcentage c doit être majoré d'une certaine quantité, de l'ordre de 1 % qui correspond à l'adsorption par les agrégats. Le graphique ci-joint donne pour les différents types de sable, la résistance à la compression obtenue après stabilisation et le pourcentage des vides remplis dans les différents cas. Ces valeurs sont obtenues après 24 heures avec une teneur en eau saline de 4 % en poids au moment du mélange. Les teneurs en eau inférieures permettent un durcissement plus rapide, tandis qu'un pourcentage en eau plus fort retarde légèrement le durcissement. Les essais ont été faits dans des conditions d'évaporation aussi peu favorables que possible (pas de soleil et 100 % d'humidité) de façon à conserver un certain coefficient de sécurité.

L'exécution de la stabilisation comporte le mélange des deux éléments liquides employés, le mélange de ces liquides avec le sable de plage et le compactage du mélange.

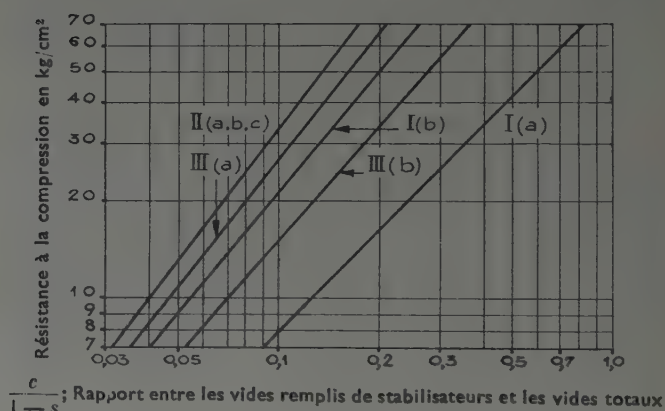


FIG. 4. — Résistance à la compression des sables stabilisés en fonction de la proportion de stabilisateur incorporé.

Les machines en service pour la préparation des mélanges stabilisés permettent d'effectuer le mélange du sable au liquide stabilisateur en proportions convenables. Le compactage est fait en utilisant une plaque d'acier surmontée par un vibreur à béton et trainée par le mélangeur mécanique. Les résultats obtenus sont satisfaisants, mais le compactage du sable pourrait certainement être encore amélioré.

Le mode de construction et d'entretien des mélanges de sable et de résine synthétique correspond très exactement aux recommandations valables pour les routes stabilisées au bitume telles qu'elles ont été publiées dans le bulletin n° 12 du *Highway Research Board*.

Tels sont d'abord les considérations théoriques puis les modes d'application pratique d'une méthode de stabilisation que nous avons eu l'occasion de mettre complètement au point. Nous terminerons maintenant par l'examen des différents autres modes de stabilisation, sans toutefois nous y arrêter aussi longuement.

Stabilisation à la colle.

On trouve dans cette catégorie des sols dont les particules ont été cimentées par de la colle organique protéique ou hydrate de carbone, ou d'autres types ne rentrant pas dans les catégories déjà discutées. Il faut rendre ces colles hydrofuges et insensibles à la destruction microbienne. Un exemple de matériau de cette catégorie est l'extrait concentré de sisal produit par la société *Imperial Chemical Industries*. Il y aura un grand nombre de difficultés à résoudre avant que ces procédés puissent jouer un rôle important.

Stabilisation à la chaux.

Il y a deux mécanismes de stabilisation qui peuvent intervenir quand on emploie la chaux : une action hydraulique zéolithique et la carbonatation. La première réaction, quand elle a lieu, est relativement rapide ; la seconde, au contraire, s'effectue très lentement, puisqu'elle dépend de la diffusion du gaz carbonique. Les expériences de l'auteur sur des échantillons naturels aussi bien qu'artificiels, ont montré seulement le deuxième de ces phénomènes, sans avoir réussi à mettre en lumière l'action rapide. Dans tous les cas observés, les échantillons préparés avec la chaux étaient de qualité inférieure aux échantillons préparés avec des quantités comparables de ciment Portland.

Stabilisation aux cendres volantes.

Certaines cendres de centrales ont donné des résultats très prometteurs en raison de leurs propriétés pouzzolaniques. Le problème important est de choisir des cendres de bonne qualité. Des études faites en Allemagne ont démontré que les cendres volantes peuvent réagir selon l'un des mécanismes suivants : comme le ciment Portland, comme le gypse, et comme la chaux. On peut dire que plus les cendres ressemblent au ciment Portland et à la chaux hydraulique, meilleure est leur action stabilisatrice.

Stabilisation thermique.

Il y a deux méthodes de stabilisation thermique. Dans la première on cuit le sol en place. Dans la deuxième, on cuit les matériaux argileux dans des fours pour faire un agrégat artificiel. La première méthode a été pratiquée par les ingénieurs australiens récemment ; on a mis au point des brûleurs mobiles. La seconde méthode a été étudiée au point de vue économique en Argentine et présente un intérêt pour les pays où il n'y a pas de sources d'agrégats. Un phénomène thermique qui croît de jour en jour en importance est la thermo-osmose. En

appliquant un potentiel thermique à un sol cohérent, on obtient un mouvement de l'eau du côté chaud vers le côté froid sans évaporation. Le phénomène est avantageux quand un revêtement bitumineux est construit au printemps, avec des matériaux bitumineux liquides. Cependant, il est désavantageux lorsqu'il existe des câbles électriques souterrains. En effet, le chauffage du câble par effet Joule fait sécher le sol d'alentour et le rend mauvais conducteur de la chaleur. D'autres problèmes découlant de ce phénomène et concernant les fondations superficielles de routes et de bâtiments légers ont été décrits récemment à propos de problèmes rencontrés en Birmanie et en Afrique du Sud. La théorie et le mécanisme physico-chimique de la thermo-osmose ont été étudiés à Princeton.

Stabilisation électrique.

Les phénomènes utilisés dans ce type de stabilisation sont :

- 1° L'électro-osmose ou le drainage du sol par application d'un potentiel électrique ;
- 2° La thermo-osmose résultant du chauffage par courant électrique ;
- 3° L'action destructrice des argiles par les hauts voltages.

Le drainage électro-osmotique a été employé par les Allemands pour des besoins militaires. Les résultats obtenus avec cette méthode aux États-Unis n'ont pas été très satisfaisants. La méthode est relativement chère et, dans de nombreux cas, des procédés plus économiques peuvent lui être substitués.

Conclusion.

Messieurs, j'ai essayé de vous présenter l'état actuel de ce que j'aime nommer « la science en germe de la stabilisation du sol ». Si nous disons comme POINCARÉ que l'essence de la science est de donner le même nom à des choses différentes, il est évident que nous avons rempli cette condition par la coordination dans le système collamérétique d'un grand nombre de matériaux de construction traditionnels et de types de sols stabilisés. En même temps, nous avons pu démontrer et définir scientifiquement les influences physico-chimiques qui sont importantes dans toutes les méthodes actuelles de stabilisation.

En concluant, je désire vous remercier pour votre très grande patience et pour l'honneur que vous m'avez fait de m'avoir permis de parler devant vous.

DISCUSSION

LE PRÉSIDENT. — Je suis certain, Messieurs, d'exprimer votre pensée en remerciant M. WINTERKORN de l'exposé qu'il nous a fait. Il nous a montré que non seulement il avait étudié la théorie, mais qu'il l'avait transposée dans une pratique qui a été pendant plusieurs années à l'ordre du jour : celle des débarquements militaires éventuels sur des plages de sable.

Je suis sûr qu'un certain nombre d'entre vous voudront profiter de la présence ce soir à Paris de M. WINTERKORN pour lui poser quelques questions : il est à votre disposition pour y répondre.

UN AUDITEUR. — Que est le procédé mécanique qui doit accompagner la mise en œuvre du procédé qui nous a été décrit ? S'agit-il d'une compression ou éventuellement d'une action vibratoire ?

M. WINTERKORN. — Le sable est un liquide macroméritique. Pour le stabiliser nous lui additionnons un autre liquide au moment de la mixture. Il ne peut souffrir une méthode de compactage autre que la vibration. On emploie donc une machine à plaque vibrante. Le sol est pris par la machine à l'avancement, mélangé aux additions, répandu et vibré. Cette machine est d'ailleurs utilisée aux États-Unis pour faire des sols stabilisés à la teneur en eau convenable et les mettre en place immédiatement. Au début de nos études nous avons commencé avec le mélange d'aniline et de furfural pur ; maintenant nous faisons des mélanges, en particulier avec du brai ou du caoutchouc pulvérisé. On obtient de cette façon un mélange tel que les inégalités de proportion d'aniline et de furfural n'aient pas de conséquences nocives. Dans certains cas on peut aussi répandre en avant de la machine, sur la piste, la poudre de brai ou de caoutchouc ; celle-ci est alors reprise avec le sol, mélangée et remise en place.

M. BRICE. — L'opération ne peut-elle se faire par simple arrosage. Est-il nécessaire de faire un brassage complet ?

M. WINTERKORN. — Si on veut opérer avec sécurité, il faut mélanger.

M. BRICE. — Peut-on employer un procédé analogue dans la construction d'un tunnel ou d'un puits de façon à compacter le terrain autour de celui-ci ?

M. WINTERKORN. — Cette question est actuellement à l'étude à Princeton où nous essayons de trouver la solution.

UN AUDITEUR. — Quel est l'avantage de ce procédé par rapport à ceux utilisés actuellement ?

M. WINTERKORN. — Dans le cas considéré, il s'agit de sable grossier pour lequel il aurait fallu, si on avait fait une stabilisation au bitume, ajouter 20 ou 25 % de filler. Il est bien évident que les bateaux de débarquement ne peuvent pas débarquer du filler en même temps que des produits d'addition. D'autre part la question de temps joue. Lorsqu'on fait une stabilisation au bitume, il faut laisser à l'émulsion le temps de se rompre ou, dans le cas d'un cut back, laisser au solvant le temps de s'évaporer. Au contraire, avec les mélanges aniline-furfural dosés d'une façon convenable, on arrive à des durcissements beaucoup plus rapides.

LE MÊME AUDITEUR. — Quel est le prix approximatif du procédé ?

M. WINTERKORN. — Ces produits coûtent relativement cher puisque leur prix est de 20 cents le kilogramme pour l'un et de 40 cents pour l'autre. S'il s'agissait de travaux du temps de paix, on ne les utiliserait qu'en proportion extrêmement faible, mélangés au bitume, auquel cas on obtiendrait les mêmes résultats. En temps de guerre la question de prix n'intervient pas. D'autre part, ces produits ne sont fabriqués jusqu'ici qu'en petites quantités. Il est probable que si on avait un débit de plusieurs milliers de tonnes, on arriverait à modifier les conditions de fabrication et à réduire le prix de revient.

LE MÊME AUDITEUR. — Pour le mélange, quelle est la proportion par rapport au bitume ?

M. WINTERKORN. — La proportion est le plus souvent de 2 %. Dans certains cas on peut en mettre davantage, en particulier lorsqu'il s'agit de matériaux naturels, argileux, qui se mélangent très difficilement avec le bitume. Un pourcentage de 4 % d'aniline-furfural permet de faciliter le mélange.

LE MÊME AUDITEUR. — Le durcissement avec le mélange d'argile est-il rapide ?

M. WINTERKORN. — Oui. On peut l'utiliser immédiatement après le compactage, comme le sol bitume.

LE PRÉSIDENT. — Messieurs, je suis sûr que ces renseignements pratiques donnés par M. WINTERKORN à la suite de sa conférence vous auront tous beaucoup intéressés et je le remercie à nouveau d'avoir bien voulu venir parmi nous.

BIBLIOGRAPHIE

en langue anglaise.

I. — PÉDOLOGIE

- [1] « Soils and Men », Yearbook of Agriculture 1938. U. S. Department of Agriculture, Washington, D. C.
- [2] J. S. JOFFE, « Pedology », Rutgers University Press, New Brunswick, N. J.
- [3] Hans F. WINTERKORN, « Climate and Highways », Transactions of the American Geophysical Union (June 1, 1944), pp. 405-411.
- [4] E. C. JUL. MOHR, « The Soils of Equatorial Regions », Edwards Bros. Inc., Ann Arbor, Michigan 1944.
- [5] Hans F. WINTERKORN « Engineering uses and limitations of pedology for regional exploration of soils », Proc. IInd Int. Conf. Soils Mech. and Found. Engin. 1, 8-12, Rotterdam, Holland, 1948.

II. — STABILISATION DES SOLS

GÉNÉRALITÉS

- [1] Hans F. WINTERKORN, « Principles and Practice of Soil Stabilization », Technological Applications, Colloid Chemistry, Theoretical and Applied, Vol. VI, Jerome Alexander ed. New York 1946. Reinhold Publish. Co.
- [2] —, « Soil Stabilization », Proc. Second Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng. 5, 209-215, 1948.
- [3] —, « Engineering Properties of Clay Soils », Paper presented at the 1948 National Meeting of the American Chemical Society. Published as Bulletin No. 1, of the Winterkorn Road Research Institute. 1950.
- [4] —, « Fundamental Approach to the Stabilization of Cohesive Soils », Proceedings 28th Annual Meeting Highway Research Board, 1948, 415-422.
- [5] Michael SILLBERG and Hans F. WINTERKORN, « Saline Soils and their Stabilization », Final Report on Beach Sand Stabilization IV a, Bureau of Yards and Docks, Washington, D. C. 1949.
- [6] Andrew J. GOODPARTAR and Hans F. WINTERKORN. « Alkaline Soils and their Stabilization », *ibidem* IV b.
- [7] Hans F. WINTERKORN and A. N. Dutta CHOUDHURY. « Importance of Volume Relationships in Soil Stabilization », Proceedings Highway Research Board 29, 553-60, 1949.
- [8] Hans F. WINTERKORN and E. C. CHANDRASEKHARAN : « Laterite Soils and their Stabilization », Bulletin No. 44 « Volcanic Ash and Laterite Soil in Highway Construction », Highway Research Board, Washington D. C. 1951.

III. — BÉTON D'ARGILE

- [1] « Granular Stabilized Roads » Current Road Problems Bulletin No. 5. Highway Research Board, Washington, D. C.
- [2] Manuel PIMENTAL PEREIRA DOS SANTAS, « Prediction of the Liquid Limit and of the Plasticity Index of Soil Mixtures », Revista do Ordem dos Engenheiros, Lisboa, 1950.
- [3] Voir ci-dessus : Nos [3], [4], [5], [6], [7], [8], Section Stabilisation des sols. Généralités.

IV. — SOL-CIMENT

- [1] « Soil-cement Roads-Construction », Handbook-Portland Cement Association, Chicago, Illinois.
- [2] « Soil-Cement Mixtures-Laboratory », Handbook-Portland Cement Association.
- [3] Miles D. CATTON, « Research on the Physical Relations of Soil and Soil-Cement Mixtures », Proceedings Highway Research Board, 20, 1940.
- [4] Hans F. WINTERKORN, Harold J. GIBBS and R. C. FEHRMAN, « Surface Chemical Factors of Importance in the Hardening of Soils by Means of Portland Cement », Proceedings Highway Research Board, 22, 1942.
- [5] « Use of Soil-Cement Mixtures for Base Courses » Current Road Problems Bulletin No. 7, Highway Research Board, 1943.

V. — STABILISATION AUX PRODUITS BITUMINEUX

- [1] Hans F. WINTERKORN, « Oiling Earth Roads », Ind. and Eng. Chem. 26, 815-19, 1934.
- [2] Hans F. WINTERKORN, « Affinity of Hydrophilic Aggregate to Asphaltic Bitumen », Ind. and Eng. Chem. 30, 1362-68, 1938.
- [3] Hans F. WINTERKORN and George W. ECKERT, « Physico-Chemical Factors of Importance in Bituminous Soil Stabilization », Proceedings Association Asphalt Paving Technologists, 11, 204-257, February 1940.
- [4] « Soil Bituminous Roads » Current Road Problems Bulletin No. 12, by Committee on Soil-Bituminous Roads of Highway Research Board (Chairman : Hans F. WINTERKORN). Washington, D. C. 1946 (contains extensive Bibliography).

VI. — STABILISATION AUX RÉSINES NATURELLES ET ARTIFICIELLES

- [1] Lewis B. OLMSTEAD and L. W. KLIPP, « Chemical Stabilization for Military Uses », U. S. Dept. of Agriculture Research Report No. 22, May 10, 1944 (originally classified).
 - [2] George W. Mc ALPIN, R. C. MAINFORT and Hans F. WINTERKORN, « A Laboratory Study of the Soil Stabilizing Effectiveness of a Complex Salt of Abietic Acid », U. S. Dept. of Commerce, CAA, Techn. Development. Note No. 35, July 1944 (originally classified).
 - [3] Hans F. WINTERKORN, R. G. FEHRMAN, and George W. Mc ALPIN, « Waterproofing Soils by Resinous Treatment », Proc. Soil Science Soc. of America 10, 458-460, 1945.
 - [4] Hans F. WINTERKORN and George W. Mc ALPIN, « Soil Stabilization by the Use of Rosin », U. S. Dept. of Commerce, CAA, Techn. Development, Note No. 34, Second Edition, Feb. 1946 (originally classified).
 - [5] « Resinous Water Repellents for Soils », Technical Memorandum No. 217-1, U. S. Waterways Experiment Station, May 1946.
 - [6] Hans F. WINTERKORN, « A Laboratory Study of the Soil Stabilizing Effectiveness of Artificial Resins with Special Emphasis on the Aniline-Furfural Resins », U. S. Dept. of Commerce, CAA, Techn. Development. Note No. 43, Second Edition, Jan. 1947 (originally classified).
 - [7] R. G. MAINFORT, « A Study of the Soil Stabilizing Properties of Tung Oil », U. S. Dept. of Commerce, CAA, Techn. Development Report No. 80, April 1948.
 - [8] Hans F. WINTERKORN and co-workers. « Final Report on Beach sand Stabilization for the Bureau of Yards and Docks, U. S. Navy Dept. 15 November 1947-15 November 1949. Published by U. S. Navy Dept. 1949 ».
- Part I. Statement of the Problem and Status of Pertinent Knowledge at the Initiation of the Research Project, 64 pages.
- Part II. Laboratory Development of a Method Employing Aniline-Furfural Formulations which resinify at normal temperatures, 128 pages.
- Part III. Development of a Field Method of Application, Evaluation of Field Test Data, 46 pages.
- Part IV (a). Saline Soils and Their Stabilization, 125 pages.
(b). Alkali Soils and Their Stabilization, 54 pages.
- [9] Hans F. WINTERKORN, E. C. CHANDRASEKHARAN and R. G. FEHRMAN, « Certain Aspects of Resinous Soil Stabilization », Proc. 4th Asphalt Congress, Buenos Aires, 1950.
 - [10] R. H. HENLEY, H. J. SIELAND and E. R. HOLDEN, « Beach Soil Stabilization-Aniline-Furfural Method », U. S. Naval C. E. Res. and Development Lab. Tech. Report R-001. 21 sept. 1950. Port Hueneme, Calif.
 - [11] R. C. MAINFORT, « A Summary Report on Soil Stabilization by the Use of Chemical Admixtures », U. S. Dept. of Commerce, CAA, Tech. Development Report No. 136 Feb. 1951.
 - [12] T. W. LAMBE, « Stabilization of Soils with Calcium Acrylate », J. Boston Soc. Civ. Eng. XXXVIII, April 1951.
 - [13] Hans F. WINTERKORN, « Development of the Aniline-Furfural Method for Military Beach Sand Stabilization », Report presented at the Fall Meeting of A. Soc. of Civ. Engrs., New York 1951.

VII. — STABILISATION A LA CHAUX

- [1] Bob M. GALLAWAY « Lime Stabilization of Clay Soil », Bulletin No. 124, A and M College, College Station, Texas 1951.
- [2] S. D. LESENE « Stabilization of Road Beds with Lime » Bulletin 325, National Lime Assoc., Washington, D. C.
- [3] Voir ci-dessus N°s [5], [6], [7], [8], section Stabilisation des sols. Généralités.

VIII. — ÉLECTRO ET THERMO-OSMOSE

- [1] Hans F. WINTERKORN, « Fundamental Similarities between Electro-osmosis and Thermo-osmosis », Proc. 1947 Meeting Highway Research Board, 27, 443-455.
- [2] K. R. S. GOWDA and Hans F. WINTERKORN, « Theoretical and Experimental Exploration of the Practical Possibilities of Electro-osmosis and Thermo-osmosis », Part V. Final Report of Beach Sand Stabilization Project NOY-15087, Bureau of Yards and Docks, The Navy Department, Washington, D. C. 1949.
- [3] J. E. JENNINGS, « Foundations for Buildings in the Orange Free State Goldfields », J. S. African Inst. of Eng. 49, Nos. 4 and 8. October 1950.
- [4] Hans F. WINTERKORN, « Discussion of Movements in the Desiccated Alkaline Soils of Burma by F. L. D. Woollerton » Proc. A. S. C. E. 76, Separate No. D-XXVIII, 1951.

SEPTEMBRE 1952

Cinquième Année, N° 57.

DOCUMENTATION TECHNIQUE

SERVICE DE DOCUMENTATION

L'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics peut en général fournir la reproduction *in extenso* des documents figurant à l'Index analytique de documentation : sur microfilms négatifs de 35 mm qui peuvent être lus en utilisant soit un agrandisseur photographique courant, soit un lecteur de microfilms ou sur papiers positifs pour lecture directe.

Les demandes de documents doivent comporter le numéro d'ordre placé en tête de l'analyse, le titre du document et le nom de l'auteur.

Prix des reproductions photographiques :

Microfilms : la bande de 5 images (port en sus)..... 100 F

Positifs sur papier : la page (port en sus) :

Format 9 × 12.....	55 F
13 × 18.....	70 F
18 × 24.....	90 F
21 × 27.....	130 F
Minimum de perception.....	150 F

Ces prix sont susceptibles de variation.

Pour tous renseignements, s'adresser à l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 28, boulevard Raspail, Paris-VII^e.

SOMMAIRE

DOCUMENTATION TECHNIQUE LVII

RÉUNIE EN

MAI - JUIN 1952

	Pages.
I. — INDEX ANALYTIQUE DE DOCUMENTATION..	944
Architecture et Urbanisme.....	944
Sciences de l'Ingénieur.....	944
Les Arts de la Construction.....	946
Les Ouvrages.....	956
II. — TRADUCTIONS.....	961
III. — BIBLIOGRAPHIE.....	961

I. — INDEX ANALYTIQUE DE DOCUMENTATION

Les références de chaque article sont données dans l'ordre suivant : Numéro d'ordre, titre de l'article, nom de l'auteur, nom de la revue, date, numéro du fascicule, nombre de pages, nombre de planches.

Conformément aux recommandations faites par le Conseil International de Documentation du Bâtiment (C. I. D. B.), les analyses présentées dans la *Documentation Technique* comportent leur indexation suivant les notations de la Classification Décimale Universelle (CDU). Les analyses sont publiées dans la *Documentation Technique* dans l'ordre des rubriques de la classification, du système CORDONNIER, mise au point il y a quelques années pour le rangement du fichier de documentation de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics.

B. — ARCHITECTURE ET URBANISME

1-57. Le soleil et l'architecture intertropicale. DEPONT (M.); *Tech. Archit.*, Fr. (1952), 2^e série, n° 5-6, p. 38-39, 3 fig. — Étude du rayonnement solaire dans les différentes zones intertropicales et dispositions architecturales de protection. E. 20366. CDU 711 : 551.521.

2-57. L'habitation indigène. CRESSWELL (R.); *Tech. Archit.*, Fr. (1952), 2^e série, n° 5-6, p. 40-44, 20 fig. — Formes, techniques, procédés particuliers de protection de l'habitation indigène. E. 20366. CDU 711 : 551.582.3.

3-57. Les conditions de l'architecture en Afrique tropicale. LE CAISNE (R.); *Tech. Archit.*, Fr. (1952), 2^e série, n° 5-6, p. 45-48, nombr. fig. — Conditions particulières et règles de l'habitat en Afrique tropicale. E. 20366. CDU 711 (6).

4-57. L'architecture et le nouvel habitat africain. NORMAND (Y. J.); *Tech. Archit.*, Fr. (1952), 2^e série, n° 5-6, p. 49-52, 5 fig. — Cité africaine actuelle et de demain. Habitat actuel et de demain. Besoins et réalisation. E. 20366. CDU 711 (6).

5-57. L'architecture intertropicale. Projets et réalisations. *Tech. Archit.*, Fr. (1952), 2^e série, n° 5-6, p. 65-95, 102-114, nombr. fig. — Description illustrée de divers projets et réalisations de constructions diverses en Afrique : marché couvert et centre hospitalier à Konakry (A. O. F.), lycée à Abidjan, aéroport à Abidjan-Port-Bouet (Côte d'Ivoire), palais de justice d'Abidjan, institut intercontinental d'Adiopo-

doumé (Côte d'Ivoire), groupe scolaire à Dakar, aménagement de Niamey (A. O. F.), palais du gouvernement à Ouagadougou (A. O. F.), hôpital de Zinder (Niger), maison à Bangui (Oubangui-Chari), aménagement de Brazzaville (A. E. F.), bureau des P. T. T. à Douala (Cameroun), immeubles de fonctionnaires au Barachois, Saint-Denis (Ile de la Réunion), gendarmerie de Papeete (Tahiti), habitations à Pointe-à-Pitre (Guadeloupe), villas au Hamma, Alger, hôpital d'Adrar, Hoggar (Algérie), maison préfabriquée type « tropique », maison préfabriquée type O. M., bungalows tropicaux préfabriqués, habitation coloniale économique. E. 20366. CDU 711 : 725 (6).

6-57. Côte des Somalis. Le problème de l'habitat. L'architecture éolienne. BAZELAIRE DE RUPPIERRE (O. P. de); *Tech. Archit.*, Fr. (1952), 2^e série, n° 5-6, p. 96-97, 9 fig. — Conditions climatiques de Djibouti. Principe de l'architecture éolienne. Synthèse des moyens et caractères de cette architecture. E. 20366. CDU 711 (6).

7-57. Que construit l'Italie? OLIVIERI (L. C.), ANGELI (R. G.); *Maison fr.*, Fr. (mai 1952), vol. 6, n° 57, p. 5-10, 19 fig. — Politique de construction en Italie. Constructions privées. Intervention de l'État : plan Fanfani. E. 20343. CDU 711 : 728.

8-57. L'urbanisme et l'habitat outremer. Éd. : Marchés coloniaux du Monde, Paris

(23 fév. 1952), numéro spécial 328, 1 vol., 220 p., nombr. fig. — Voir analyse détaillée B-658 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20717. CDU 711 : 728.3 : 690.37 (02).

9-57. Peut-on construire de hautes maisons dans de petites villes? (Hochhäuser in der Kleinstadt?). JELTSCH (M.); *Plan*, Suisse (mars-avr. 1952), n° 2, p. 53-64, 40 fig. — Critiques de trois constructions élevées dans la ville de Bâle. Nécessité d'assainir les vieux quartiers des villes. Principes des conceptions nouvelles. Définition des maisons élevées; leur destination. Diverses formes d'immeubles élevés. Augmentation du trafic des voies publiques au voisinage des blocs de grands immeubles. Ombres portées par les immeubles. Choix des emplacements. Défauts des règlements dans les petites villes. L'immeuble de la Sorag, à Grenchen. Immeuble Handelshof à Olten. E. 20165. CDU 728.5 : 711.

10-57. Tourisme. Bureaux. Grands magasins. Boutiques. *Archit. Anj.*, Fr. (avr. 1952), n° 40, p. 2-49, nombr. fig. — Plans et photographies commentés de quelques constructions relatives aux spécialités commerciales suivantes. Tourisme : deux hôtels et une banque. Bureaux : trois exemples en Hollande et aux États-Unis. Grands magasins : sept exemples aux U. S. A., en Italie, en Hollande, en France. Boutiques : deux exemples à Londres et à Milan. E. 20302. CDU 728.5 : 725.2.

C. — SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

11-57. Lexique illustré des ingénieurs (Engineers' illustrated thesaurus). HERKIMER (H.); Éd. : Chemical Publishing Co., Inc., New-York, U. S. A. (1952), xvi + 572 p., nombr. fig. — Voir analyse détaillée B-662 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20110. CDU 690 (02).

12-57. Mécanique des corps solides (Mechanik der Festkörper). LOHR (E.); Éd. : Walter de Gruyter und Co, Berlin, All. (1952), 1 vol., VIII + 483 p., 73 fig., réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-673 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20556. CDU 62 (02).

Ca RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

13-57. Résistance des matériaux. I. Théorie élémentaire et problèmes. TIMOSHENKO (S.); Éd. : Libr. polytech. Ch. Béranger,

Paris; Liège, Belg. (1947), 2^e édit. traduite de l'anglais par Ch. LAFFITTE, 1 vol., xvi + 351 p., 301 fig., réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-650 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20575. CDU 690.4 : 539.37 (02).

14-57. La torsion des poutres composées (Torsion of plate girders). CHANG (F. K.), JOHNSTON (B. G.); *Proc. A. S. C. E. (Struct. Div.)*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 78, Separ. n° 125, 46 p., 27 fig. — Rapport sur les recherches entreprises pour déterminer la distribution des contraintes, la raideur et la résistance dans les poutres composées de tôles boulonnées, rivées ou soudées sous l'action de la torsion. Description des nombreux essais effectués dont certains dans le domaine de la plasticité et des machines d'essais utilisées. Formules pour le calcul des boulons et des rivets, ainsi que des soudures. E. 20335. CDU 690.237.22 : 693.97 : 539.37.

15-57. Variation de la vitesse du vent et des coups de vent suivant l'altitude (Variation of

wind velocity and gusts with height). SHERLOCK (R. H.); *Proc. A. S. C. E. (Struct. Div.)*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 78, Separ. n° 126, 26 p., 12 fig. — Théorie de la variation de la vitesse du vent avec la hauteur qui utilise la spirale d'Eckman. Vérification de cette théorie à l'aide d'enregistrements particuliers; examen de la durée et de l'intensité des coups de vent. Procédé qui permet d'obtenir la pression du vent d'après l'altitude. Justification de la loi de la puissance $\frac{1}{7}$ et de la loi reliant les facteurs de rafales avec les altitudes. E. 20336. CDU 533.6 : 699.83.

16-57. Vagues de longues périodes ou vagues de crête dans les ports. (Long-period waves or surges in harbors). CARR (J. H.); *Proc. A. S. C. E. (Hydraul. Div.)*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 78, Separ. n° 123, 16 p., 9 fig. — Ces vagues affectent les objets flottants au pourtour des ports et peuvent avoir une action sur les dépen-

dances portuaires. Résultats d'études en place et sur modèles des origines et des caractéristiques de ces vagues; étude de la résonance. Possibilité des études sur modèle et exemples d'emploi de modèles dans l'étude des dépendances des ports. E. 20333.

CDU 627.3 : 699.83 : 551-577.22 : 620.1.
17-57. Théorie de l'élasticité. TIMOSHENKO (S.); Ed.: Libr. polytech. Ch. Béranger, Paris; Liège, Belg. (1948), 1 vol., xx + 446 p., 203 fig., réf. bibl. (traduit de l'anglais par A. DE RIVA BERNI). — Voir analyse détaillée B-649 au chap. III « Bibliographie ». E. 20576.
CDU 690.4 : 539.3 (02).

18-57. Le risque de rupture des corps solides soumis à des sollicitations répétées. Fatigue (Die Bruchgefahr fester Körper bei wiederholter Beanspruchung. Ermüdung). ROŠ (M.), EICHINGER (A.); Eidgenössische Materialprüfungs Versuchsanstalt Industr., Bauwesen Gewerbe, Zurich, Suisse (sept. 1950), rapport n° 173, VIII + 161 p., 191 fig., 102 réf. bibl. (résumés français et anglais). — Compte rendu d'essais effectués au pulsateur et ayant montré l'exactitude de l'hypothèse de Coulomb-Mohr. Autres résultats constatés en cas de sollicitation hétérogène, de sollicitation à l'écoulement par viscosité, d'essais à températures élevées. E. 20452.
CDU 539.424.

Cac n Procédés de calcul.

19-57. Méthode de répartition algébrique des moments (méthode de Cross). WILENKO (L. K.); Ed.: Libr. polytech. Ch. Béranger, Paris; Liège, Belg. (1952), 1 vol., VIII + 122 p., 101 fig., 9 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-651 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20305.
CDU 539.37 : 690.4 : 518.5 (02).

20-57. Poutres continues, portiques et dalles armées dans deux directions rectangulaires (Durchlaufträger, Rahmen und kreuzweise bewehrte Platten). HAHN (J.); Ed.: Werner, Düsseldorf-Lohausen, All. (1951), 1 vol., 92 p., 78 fig. — Voir analyse détaillée B-671 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20197.
CDU 539.37 : 518.5 : 690.2 (02).

21-57. Principes du calcul tensoriel en représentation analytique. I. Algèbre tensorielle (Grundzüge der Tensorrechnung in analytischer Darstellung. I. Tensoralgebra). DUSCHEK (A.), HOCHRAINER (A.); Ed.: Springer, Vienne, Autr. (1948), 2^e éd., 1 vol., VI + 129 p., 26 fig. — Voir analyse détaillée B-675 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20189.
CDU 62 : 518.5 (02).

22-57. Principes du calcul tensoriel en représentation analytique. II. Analyse tensorielle (Grundzüge der Tensorrechnung in analytischer Darstellung. II. Tensoranalysis). DUSCHEK (A.), HOCHRAINER (A.); Ed.: Springer, Vienne, Autr. (1950), 1 vol., VII + 338 p., 90 fig. — Voir analyse détaillée B-676 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20190.
CDU 62 : 518.5 (02).

23-57. Note sur la torsion d'une poutre droite encastrée à l'une de ses extrémités et libre à l'autre. CAQUOT; Ann. Ponts Chauss., Fr. (mars-avr. 1952), n° 2, p. 127-130, 1 fig. — Établissement de la formule donnant la rotation unitaire d'un profil en double T encastré à une extrémité et soumis à un couple de torsion sur la section terminale, en tenant compte de la déformation de flexion des membrures et de la déformation d'effort tranchant. La formule donne directement le terme correctif caractérisant la perturbation apportée par l'encastrement de la section d'origine. Application numérique. E. 20572.
CDU 690.237.22 : 518.5.

24-57. Torsion des poutres en I courbes. ESSLINGER (M.); Ann. Ponts Chauss., Fr. (mars-avr. 1952), n° 2, p. 131-149, 13 fig., 2 réf. bibl. (résumé anglais). — Étude de la torsion de flexion d'une poutre courbe à section en double T. Cas d'une torsion avec effort tranchant et sans moment fléchissant résultant

dans la section droite, cas d'une torsion sans effort tranchant et avec moment fléchissant dans la section droite. Application numérique et concordance satisfaisante du résultat avec un essai. E. 20572.

CDU 690.237.22 : 518.5.
25-57. La méthode de Walther Ritz. Son application à quelques problèmes élémentaires de résistance des matériaux. I. PASCHOUD (M.); Bull. tech. Suisse romande, Suisse (3 mai 1952), n° 9, p. 125-130, 7 fig., 3 réf. bibl. — Relation entre les problèmes aux limites et le calcul des variations, méthode de Ritz qui ramène les problèmes aux limites à des problèmes de variation. Procédé de Galerkin. Application à la déformée de la poutre à deux appuis simples et calcul dans quelques cas de charge. Moments d'encastrement d'une poutre encastrée aux deux extrémités et sollicitée par une charge P. E. 20264.
CDU 690.237.22 : 518.5.

26-57. Plaque mince dont la déformation initiale est affine de la déformation ultérieure (Initially deflected thin plate with initial deflection affine to additional deflection). NYLANDER (H.). Tiré à part de: Mém. A. I. P. C., Suisse (1951), vol. II, p. 347-374, 19 fig., 11 réf. bibl. h. t. (résumés allemand et français). — Étude du cas d'une plaque mince comportant une déformation initiale du même ordre de grandeur que sa propre épaisseur. En comparant les équations fondamentales d'une plaque initialement plane avec celles d'une plaque initialement incurvée (Karman et Marguerre), on montre que la solution du second cas peut être obtenue à partir de celle du premier lorsqu'on peut admettre que la déformation initiale est affine de la déformation ultérieure. E. 19584.
CDU 691-413 : 518.5 (061.3).

27-57. Étude des portiques continus à deux rampants (The analysis of continuous ridged portal frames). MARKLAND (E.); Struct. Engr., G.-B. (mai 1952), vol. 30, n° 5, p. 101-108, 11 fig., 3 réf. bibl. — Méthode pour le calcul des portiques continus, principalement les portiques symétriques. Le calcul s'appuie sur la méthode de relaxation. Exemple d'application. E. 20273.
CDU 693.9 : 518.5.

28-57. Théorie des éléments à treillis ou à barrettes de liaison (A theory for struts with lattice or batten bracing). JONES (B. D.); Struct. Engr., G.-B. (mai 1952), vol. 30, n° 5, p. 108-113, 10 fig., 7 réf. bibl. — Étude des piliers et supports verticaux soumis à des charges excentrées et transversales. Formules pour le calcul de ces supports. E. 20273.
CDU 690.237.52 : 518.5.

29-57. Résistance de la dalle circulaire d'épaisseur variable par paliers avec charges et liaisons symétriques. I (Resistenza della piastra circolare di spessore variabile scaloidamente con carico e vincolo simmetrici). CATTIN (A.); G. Genio civ., Ital. (mars-avr. 1952), n° 3-4, p. 201-211, 2 fig. — E. 20527.
CDU 691-413 : 518.5.

30-57. Contribution au calcul des moments dans les piliers extrêmes selon la norme PN/B-199 (Przyczynek do obliczenia momentow w stupach skrajnych według PN/B-199). WINARSKI (L.); Inzyn. Budown., Pol. (juin 1951), n° 6, p. 263-264, 5 fig. — Dans les calculs approchés des moments dans les piliers extrêmes liés rigidement, avec la poutre, il paraît souhaitable de tenir compte de l'influence de la rotation du deuxième point d'appui, surtout lorsque la charge utile dépasse largement le poids propre de la construction. Calcul et exemples numériques. E. 19053.
CDU 690.237.52 : 518.5.

31-57. Conditions d'utilisation des poutres à béquilles à une travée dans la construction des ponts (Warunki przydatności ramownic jedno-przesłowych w budowie mostow). TIETIAJEW (J.), WASIUTYNSKI (Z); Inzyn. Budown., Pol. (juil.-août 1951), n° 7-8, p. 299-302,

10 fig. — Comparaison du portique avec une poutre à appuis libres de même portée. On cherche à dimensionner la poutre principale et les béquilles du portique de façon que la valeur limite du moment fléchissant dans la poutre soit inférieure à cette même valeur pour une poutre à appuis libres. Cas où : 1^o les béquilles sont à rotules fixes; 2^o les béquilles sont encastrées dans le sol. Discussion et calcul analytique. E. 19052.

CDU 690.237.22 : 693.9 : 624.27 : 518.5.
32-57. Application de la méthode d'itération (de Cross) aux cadres à contre-fiches (Zastrowanie metody iteracji (Crossa) do ram zastrawianych). KORELESKI (J.); Inzyn. Budown., Pol. (jan. 1952), n° 1, p. 20-23, 11 fig. — Poutres continues, cadres et portiques à plusieurs travées dont les nœuds sont maintenus rigidement au moyen de contre-fiches d'angle. Conception de la « rigidité » des nœuds, détermination analytique. « Coefficients de partage » des actions des contre-fiches et « coefficients de transport ». Exemples de calcul : 1^o poutre à béquilles avec contre-fiches supportant une charge uniformément répartie. 2^o poutre continue à quatre travées et contre-fiches. E. 19447.
CDU 690.2 : 518.5.

33-57. Calcul des dalles au moyen de la fonction extérieure des contraintes (Sobre el calculo de lasas mediante la funcion exterior de tensiones). BEER (H.), PISCITELLI (G.); Tecnica, Argent. (juin 1951), vol. 1, n° 3, p. 151-169, 45 fig., 5 réf. bibl. (résumé anglais). — Calcul des dalles minces avec l'aide de la fonction d'Airy dont l'utilisation est simplifiée et abrégée. E. 20457.
CDU 691-413 : 518.5.

34-57. Lignes d'influence obtenues par corrections d'une ligne hypothétique (Influence lines by corrections to an assumed shape). MICHALOS (J. P.), WILSON (E. N.); Proc. A. S. C. E. (Struct. Div.), U. S. A. (avr. 1952), vol. 78, Separ. n° 124, 15 p., 13 fig. — Étude analytique d'un procédé permettant d'obtenir les lignes d'influence des constructions continues au moyen de corrections numériques successives apportées à une ligne adoptée a priori. L'élément peut avoir une section variable et on peut atteindre la précision que l'on veut. E. 20334.
CDU 518.3.

35-57. La répartition des charges par les forces de glissement; théorie des dalles avec poutres rectangulaires (fin) (Ueber die Lastverteilung durch Schubkräfte, Theorie des Plattenkreuzwerks). HOMBERG (H.); Stahlbau, All. (mai 1952), n° 5, p. 77-79, 5 fig. — Divers cas particuliers de charge produisant le déplacement des éléments superficiels, des allongements, des modifications de la section ou des flexions et des torsions des poutres. Calcul des éléments principaux et transversaux au moyen de systèmes auxiliaires. E. 20376.
CDU 691-413 : 518.5.

Caf Essais et mesures.

36-57. La relation contrainte-déformation (Stress-strain relationship). WILLIAMS (E. J.), KLOOT (N. H.); Austral. J. appl. Sci., Austral. (mars 1952), vol. 3, n° 1, p. 1-13, 3 fig., 8 réf. bibl. — Un modèle a été réalisé pour étudier les propriétés des matériaux soumis à des charges. Cet appareil a permis de tracer des courbes de déformation en fonction de la charge, très comparables à celles qui sont obtenues dans la pratique avec divers matériaux. Description du modèle. Résultats obtenus. Discussion. E. 20134.
CDU 620.105 : 690.43.

37-57. Technique et utilisation des jauges de contraintes. I. ZEBSTEIN (U.); Bull. Tech. Veritas, Fr. (avr. 1952), n° 4, p. 61-65, 6 fig. — Technique d'utilisation des jauges de contraintes à fil métallique résistant. Caractéristiques physiques des jauges. Caractéristiques électriques. E. 20161.
CDU 620.108 : 690.43.

38-57. La méthode des extensomètres à résistance pour l'étude expérimentale des états élastiques plans (Il metodo delle rosette estensimetriche per l'analisi sperimentale degli stati elastici piani). CERADINI (G.); G. Genio civ., Ital. (mars-avr. 1952), n° 3-4, p. 171-185, 19 fig., 1 pl. h. t., 5 réf. bibl. E. 20527.

CDU 620.17 : 681.208.

39-57. Le laboratoire du photo-élasticité de l'École polytechnique fédérale, Zurich. Quelques applications récentes de la méthode purement optique à des problèmes d'élasticité plane et à l'étude des plaques fléchies. FAVRE (H.); Inst. tec. Constr. Cemento, Esp. (déc. 1951), 52 p., 45 fig. (Conférences à l'Inst. tech. Constr. Ciment, Madrid, mars 1951). — Principes de la photo-élasticité appliquée aux états bidimensionnels; description et emploi des appareils de mesure du laboratoire de photo-élasticité de Zurich; exemple de résolution de problème par la méthode purement optique. Applications récentes qui concernent : a) l'étude de la répartition des tensions dans des poutres simples de section variable; b) l'étude de la répartition des tensions dans les poutres encastrees de section variable qui révèle l'existence d'une poussée horizontale; c) l'étude de la répartition des tensions dans l'ensemble formé par un mur vertical, une dalle de fondation et le sol; d) une méthode purement optique pour la mesure directe des moments dans les plaques minces fléchies. Bibliographie. E. 20188.

CDU 727.5 : 620.015.7.

Ci GÉOPHYSIQUE

Cib m Étude des sols.

40-57. La géophysique et l'eau (Geophysics and water). STICKEL (J. F. Jr.), BLAKELEY (L. E.), GORDON (B. B.); J. Amer. Wat. Works Ass., U. S. A. (jan. 1952), vol. 44, n° 1, p. 23-35, 1 fig., 6 réf. bibl. — Pour l'étude du sol, on utilise soit la méthode sismique suivant laquelle on mesure la vitesse de propagation d'une onde provoquée par un choc sur le sol

ou par l'explosion d'une petite charge de dynamite, soit des méthodes électriques basées sur la mesure de la résistivité du sol. Exposé de ces méthodes, résultats obtenus. Matériel nécessaire. Applications. Prix de revient. E. 20100.

CDU 624.131.4 : 620.1.

41-57. Exploration et cartographie des sols en vue des travaux publics (Engineering soil survey mapping). OLMSTEAD (F. R.), BELCHER (D. J.), JOHNSON (A. M.), STEVENS (J. C.), BROWNING (W. F. Jr.), THORNBURN (Th. H.), BISSETT (J. R.); Highw. Res. Board, U. S. A. (déc. 1951), Bull. n° 46, 95 p., 105 fig., 1 dpl., 49 réf. bibl. — Ce bulletin contient cinq mémoires qui traitent de l'exploration des sols par la photographie aérienne, de l'interprétation des résultats, des erreurs possibles, des études géologiques par photo aérienne et de l'appréciation des sols du point de vue agricole. E. 20354.

CDU 624.131 : 526.63.

42-57. Moyen commode de calcul des tensions dans le sol sous les fondations (Dogodny sposob obliczania naprezen w gruncie pod budowlami). STOMATELLO (H.); Inzyn. Budown., Pol. (juil.-août 1951), n° 7-8, p. 302-303, 3 fig. — Description de la méthode graphique de Newmark basée sur la formule de Boussinesq et empruntée au livre de TERZAGHI-PECK : « Soil Mechanics in Engineering Practice ». E. 19052.

CDU 624.131 : 518.5.

43-57. Les sols gelés de façon permanente (Permafrost). TERZAGHI (K.); J. Boston Soc. civ. Engrs., U. S. A. (jan. 1952), vol. 39, n° 1, p. 1-50, 17 fig., 11 réf. bibl. — Certaines régions de l'Amérique et de l'Asie septentrionale présentent des sols gelés de façon permanente. Facteurs déterminant les effets de « gel et dégel »; résistance et propriétés thermiques de tels sols. Recherches sur les terrains gelés en permanence en vue de la possibilité d'y effectuer des travaux. Effet des bâtiments chauffés sur l'état des sols gelés; affaissements. E. 20076.

CDU 624.131.4 : 624.15 : 690.592.

Cic Hydrographie.

44-57. Annuaire hydrologique de la France (année 1950). Éd. : Société hydro-

technique de France, Paris (déc. 1951), 1 vol., 167 p., nombr. fig. — Voir analyse détaillée B-653 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20475.

CDU 526.99 (02).

45-57. Initiation mathématique à l'hydrologie fluviale. COUTAGNE (A.); Houille blanche, Fr. (avr. 1952), n° 2, p. 245-268, 8 fig. (Conférence faite à l'Institut Electrotechnique, Grenoble, février 1950). — Considérations générales sur les moyens d'analyse offerts à l'hydrologue par les mathématiques; erreurs auxquelles peut conduire leur utilisation inconsiderée, principes et définitions intervenant dans l'étude des distributions statistiques et dans celle des corrélations et des covariations. E. 20561.

CDU 526.99 : 627.1 : 532.

Cid Atmosphère. Météorologie. Climatologie.

46-57. Les climats en Afrique Noire Française. CRESPI (S.); Tech. Archit., Fr. (1952), 2^e série, n° 5-6, p. 34-37, 14 fig. — Indications des climats de l'Afrique Noire Française. Pluies, vents, maladies. E. 20366.

CDU 551.582.3 (6).

Co CONDITIONS GÉNÉRALES

Cod l Normalisation.

47-57. Cahier des prescriptions techniques générales applicables aux travaux de maçonnerie, béton armé, plâtrerie. Cah. C. S. T. B., Fr. (1952), n° 14 (Cah. 134), 60 p., 17 fig., 20 fig. h. t. (résumé anglais). — Préambule fixant l'objet du Cahier, les obligations des entreprises contractantes, les particularités diverses. Spécifications relatives à la fourniture des matériaux. Prescriptions concernant la mise en œuvre : confection des mortiers et bétons, exécution des maçonneries, des ouvrages (fondations, murs, cloisons, dallages, planchers, etc...), des ouvrages en plâtrerie, des ouvrages en béton armé. Spécifications relatives aux opérations de contrôle. E. 20560.

CDU 690.013 : 389.6.

D. — LES ARTS DE LA CONSTRUCTION

48-57. Répertoire de films techniques, industriels, scientifiques, documentaires. Éd. : Fédér. nation. Syndic. Ingrs. Cadres supér., Paris (1952), 1 vol., 195 p. — Voir analyse détaillée B-657 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20641.

CDU 690 : 725.823.4 (02).

49-57. Notions de travaux publics. ALLARD (R.), KIENERT (G.); Ed. : Eyrolles, Paris (1952), 1 vol., 278 p., 395 fig., 18 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-648 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20574.

CDU 690 (02).

50-57. Méthodes de construction convenant particulièrement aux conditions des pays chauds. Tech. Archit., Fr. (1952), 2^e série, n° 5-6, p. 52-56. — Facteurs déterminant le choix du mode de construction aux pays chauds (transports, main-d'œuvre locale, matériaux, climat). Procédés récents de construction des murs employés ou susceptibles d'être employés : murs agglomérés creux, contre-murs isolants, béton banché, dalles préfabriquées, grands panneaux en béton, construction en acier, en alliage léger, en bois. Rôle du mur et conditions auxquelles il doit satisfaire sous les différents climats. E. 20366.

CDU 691 : 690.2 : 551.582.3.

51-57. « Bau », annuaire du bâtiment (« Bau », Jahrbuch des Bauwesens). All. (1952), 492 p., 41 fig., 1 pl. h. t. — Activité du bâtiment en Allemagne Occidentale de 1945 à 1951. Réfec-

tion des routes. Appareils et machines pour le bâtiment. Législation, normes. Instituts, organismes, services officiels concernant le bâtiment. Annuaire commercial du bâtiment en Allemagne Occidentale. E. 20642.

CDU 690 (02).

Dab MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

52-67. Les matériaux de construction (Baustofflehre). SIEDLER (Ed. J.); Ed. : Verlag des Druckhauses Tempelhof, Berlin, All. (1951), 2^e édit., 1 vol., 240 p., 530 fig., 15 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-674 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20285.

CDU 691 (02).

53-57. Contrôle de l'inflammabilité des matériaux. PUPIL (F.); Ann. I. T. B. T. P., Fr. (avr.-mai 1952), n° 52-53 (Essais et mesures, n° 22), p. 461-470, 18 fig. (résumé anglais). — L'auteur a étudié l'inflammabilité des matériaux au moyen d'un four électrique de grande masse thermique et réglable; il a opéré dans chaque cas à trois températures correspondant aux formes diverses des incendies (550° C, 650° C et 750° C); on a considéré les subjectiles nus et les subjectiles recouverts de peintures ou enduits différents. Les résultats ont été comparés avec ceux

obtenus par la méthode de la Marine marchande et par la méthode canadienne. E. 20563.

CDU 691 : 699.81 : 620.1.

54-57. La conductibilité thermique des matériaux. CADIERGUES (R.), GENEVAY (J.); Ann. I. T. B. T. P., Fr. (avr.-mai 1953), n° 52-53 (Équipement technique, n° 25), p. 471-490, 43 fig. (résumé anglais). — Nécessité de donner des valeurs de conductibilité thermique sous forme de tableaux en fonction de la densité des matériaux et de leurs conditions d'emploi; valeurs recommandées pour la plupart des matériaux usuels naturels ou artificiels; causes de variation de la conductibilité thermique. Justification des valeurs recommandées par les auteurs. E. 20563.

CDU 691 : 536.2.

Dab j Matériaux métalliques.

55-57. Programme du titane à la station d'essais de la Marine Américaine (The titanium program at the U. S. naval experiment station). WILLIAMS (L.); J. Amer. Soc. nav. Engrs., U. S. A. (nov. 1950), p. 855-869, 12 fig. — Types de titane. Résistance à la corrosion. Emplois. E. 20615. Trad. S. T. C. A. N., n° D. 10 616, 27 p.

CDU 691.7 : 620.19 : 699.8

56-57. L'aluminium au service de la construction. Que peut-on dire du comportement des alliages légers en zone côtière? J. Construire, Maroc (18 avr. 1952), n° 614, p. 365-369, 4 fig. — Problème de la résistance à la corrosion de l'aluminium et de ses alliages en bordure de mer. Principales formes de corrosion : dissolution uniforme, attaque par points, corrosion intergranulaire, corrosion galvanique par contact avec métaux lourds et remèdes. Protection par traitements de surface. Exemples de réalisations à la mer. E. 20167.

CDU 691.77 : 620.193 : 699.8.

57-57. La tenue des alliages légers à la corrosion marine. I. GUILHAUDIS (A.); Rev. Alumin., Fr. (mars 1952), n° 186, p. 85-91, 16 fig. (résumés français, anglais et espagnol). — Généralités et mode d'exécution des essais de corrosion. Description des moyens d'exposition dont on dispose dans les stations créées pour l'étude. E. 20168.

CDU 691.77 : 620.193 : 699.8.

Dab l Matériaux rocheux. Pierres.

58-57. Extension de l'emploi des pierres de grès calcaire (Entwicklung der Kalksandsteine). HUMMEL (A.); Humidité dans les murs extérieurs (Feuchtigkeit in Aussenwänden). SCHÜLE (W.), CAMMERER (J. S.), GÖRLING (P.); Fortschritte-Forschungen Bauwesen, All.; Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, All. (1952), 1 vol., série D, n° 3, 79 p., 68 fig., 30 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-667 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20383.

CDU 553.5 : 691.215.11 (02).

Dab lam Asphaltes et bitumes.

59-57. Commission permanente de l'asphalte. Cinquième réunion annuelle (Comisión permanente del asfalto. Quinta reunión anual). Éd. : Comisión permanente del asfalto, Buenos-Aires, Argent. (1952), 1 vol., 428 p., nombr. fig., 1 pl. h. t., réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-679 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20429.

CDU 691.161 (02).

60-57. Détermination des conditions de transmission de chaleur entre bitume et acier (Über die Ermittlung der Wärmeübergangsverhältnisse zwischen Bitumen und Stahl). SCHMITZ (H.); Bitum.-Teere.-Asph.-Pecher Stoffe, All. (avr. 1952), n° 4, p. 91-95, 7 fig., 1 réf. bibl. — Emploi de réservoirs en acier pour le transport et la préparation du bitume. Chauffage des réservoirs. Réchauffage préalable par serpent de vapeur. Dispositif de mesure de la déperdition de chaleur à travers le bitume. Résultats des mesures. Courbes des élévations de températures pendant le chauffage. E. 20145.

CDU 691.161 : 621.642 : 536.2.

Dab le Liants. Chaux. Plâtre. Ciments.

61-57. L'anhydrite (Anhydrit). Fortschritte-Forschungen Bauwesen, All. Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, All. (1952), 1 vol., Série D, n° 4, 60 p., 57 fig., 22 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-666 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20382.

62-57. Nouvelles techniques dans l'étude du séchage et du durcissement de matériaux hydrauliques (New techniques in the study of setting and hardening of hydraulic materials). CALLEJA (J.); J. A. C. I., U. S. A. (mars 1952), vol. 23, n° 7, p. 525-536, 5 fig., 9 réf. bibl. — Établissement des principes fondamentaux de la recherche au moyen de méthodes reposant sur la résistance électrique. Avantages du nouveau procédé par rapport aux méthodes anciennes; son application automatique. Relevé,

sur les graphiques donnant la résistance en fonction de la durée, des points caractéristiques du commencement et de la fin du séchage. E. 20109.

CDU 691.5.

63-57. Le dosage du laitier. BROCARD (J.); Silicates industr., Belg. (avr. 1952), t. 17, n° 4, p. 130-134, 10 fig. — Exposé des méthodes pratiques de dosage quantitatif du laitier d'un ciment. Méthode par comptage au microscope et résultats d'essais. Méthode de séparation par liqueurs denses et résultats. Comparaison des méthodes et précision à escompter. E. 20263.

CDU 691.54 : 691.322.55 : 620.1.

Dab les Agglomérés.

64-57. Malaxeurs dans l'industrie des agglomérés de béton (Zwangsmischer für die Betonsteinindustrie). RIEDIG (F.); Betonst. Ztg., All. (avr. 1952), n° 4, p. 127-131, 15 fig. (résumés anglais et français). — Principes des malaxeurs. Nécessité d'une construction robuste. Divers modes de mélange des constituants du béton dans les malaxeurs. Bac à ondulations horizontales, à agitateurs. Tambour rotatif à agitateurs. Bétonnières à marche continue. E. 20107.

CDU 691.32 — 412 : 621.9.

65-57. Machines pour la fabrication des blocs de béton léger (Maschinen zur Herstellung von Leichtbetonsteinen). GARBOTZ (G.); Betonst. Ztg., All. (avr. 1952), n° 4, p. 131-138, 20 fig., 9 réf. bibl. (résumés anglais et français). — Description de diverses machines utilisées en Allemagne pour produire les blocs de béton léger, principalement les blocs creux. Machines à pilonner et à vibrer à oscillations mécaniques ou électromagnétiques. Machines produisant les blocs directement sur le sol de l'usine. Machines vibrantes avec bâti. E. 20107.

CDU 691.32 — 412 : 621.9.

66-57. Le ciment d'amiante à l'Exposition industrielle de Hanovre (Asbestzement auf der Technischen Messe Hannover). Bauwirtschaft, All. (17 mai 1952), n° 20, p. 447-448, 3 fig. — E. 20531.

CDU 691.328.5.

Dab lem Produits céramiques.

67-57. Constructions armées en éléments céramiques du type « Stolica » (Konstrukcje staloceramizne typu « Stolica »). DOWGIRD (R.); Inzyn. Budown., Pol. (jan. 1952), n° 1, p. 12-14, 7 fig. — Description de l'élément céramique type « Stolica », amélioration du type précédent « DS » utilisé pour la construction de hourdis mixtes armés. Caractéristiques techniques (section : 20 x 25 cm). Essais sommaires de résistance de telles constructions. E. 19447.

CDU 691.4 : 690.25.

Dab m Bois et matériaux à base de bois.

68-57. Mesure de la contrainte et du fluage dans le bois (Mätning av töjning och krypning i trä). NÖREN (B.); Svenska Träforskningsinst. Tratek. Adeleningen, Suède (1952), Meddel. n° 29 B, 39 p., 25 fig., 8 réf. bibl. (résumé anglais). — E. 20525.

CDU 691.1 : 539.3 : 620.1.

69-57. Conceptions actuelles dans l'emploi du bois dans la construction. CAMPREDON (J.); Monit. Trav. publ. Bâtim., Fr. (17 mai 1952), p. 81, 83, 85, 2 fig. — Bref exposé des progrès dans l'emploi du bois en construction. Qualités actuelles du bois de construction. Développement des techniques de la charpente et des assemblages. Amélioration des bois par traitements divers. Bois contreplaqués. Bois synthétiques. Conclusion. E. 20472.

CDU 691.11 : 620.197 : 694.1.

70-57. La diffusion dans le bois (Diffusion in wood). Austral. J. appl. Sci., Austral. (déc.

1951), vol. 2, n° 4, p. 411-453, 21 fig., 2 pl. h. t., 32 réf. bibl. — G. N. CHRISTENSEN, E. J. WILLIAMS; Théorie quantitative de la diffusion en milieu poreux et ses applications au bois. Étude de la diffusion dans les bois des composés solubles dans l'eau. Coefficient de diffusion et facteur de perméabilité. Application. G. N. CHRISTENSEN : Le coefficient de température de diffusion dans le bois. La sélection ionique et son effet sur la diffusion des électrolytes. E. 19881.

CDU 691.11 : 532.6.

71-57. Imprégnation du bois par les métaux. VOGEL (F. H.); Rev. Bois, Fr. (avr. 1952), vol. 7, n° 4, p. 8-9, 2 fig. — Exposé des principes de la métallisation par imprégnation. Modes de traitement, propriétés physiques du bois métallisé et tenue au collage. E. 20164.

CDU 691.116 : 691.7.

72-57. Colles et contre-plaques. LIRON (R.); Éditions de la Revue du Bois, Paris (déc. 1950), 1 vol., 118 p., 88 fig. — Voir analyse détaillée B-655 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20180.

CDU 691.116 : 668.3 (02).

Dab n Matériaux spéciaux. Isolants. Réfractaires.

73-57. Emploi des matériaux organiques dans le bâtiment (Materialy organiczne w budownictwie). KOTARSKI (Z.); Inzyn. Budown., Pol. (nov. 1951), n° 11, p. 442-444. — Considérations générales sur la porosité, la conductibilité calorifique, le degré hygroscopique, etc., de différents matériaux isolants comme la tourbe, la paille, les joncs, les débris végétaux, etc. qu'on tend à faire entrer dans l'industrie du bâtiment. Mode de séchage. Mise en œuvre. E. 19056.

CDU 691.15 : 699.86.

Dac PEINTURES. PIGMENTS. VERNIS. PRODUITS ANNEXES

74-57. Nouveaux développements dans le cadre des produits suisses de peinture. BURGIN (M.); J. Constr. Suisse romande, Suisse (avr. 1952), n° 4, p. 206-210, 5 fig. — Étude des couleurs en dispersion de résines polyvinylées. Propriétés de ces résines. Propriétés des dispersions. Applications des peintures à dispersion. E. 20170.

CDU 691.57 : 667.1.

75-57. Quelques recherches sur l'abrasion des peintures (Some investigations of the abrasion of paint). BRUNT (N. A.); Engineering, G.-B. (18 avr. 1952), vol. 173, n° 4499, p. 504-506, 7 fig. — L'abrasion des peintures peut résulter d'un frottement exercé à leur surface, du choc de certains matériaux, ou de ces deux causes combinées. Essais de différentes sortes de peintures phénoliques, celluloliques et autres, du point de vue de la résistance à l'abrasion. Étude théorique de l'usure provoquée par le choc et par le frottement. E. 20140.

CDU 691.57 : 539.375.6.

Daf SÉCURITÉ DES CONSTRUCTIONS

Daf j Essais et mesures.

76-57. Méthode d'auscultation des ouvrages par détermination de la vitesse du son. L'HERMITE (R.); Mém. Soc. Ings civ. Fr., Fr. (juil.-août 1951), n° 7-8, p. 390-412, 19 fig. — Étude de la mesure de la vitesse du son sur éprouvettes prismatiques et de la mesure directe de la vitesse du son dans les éléments de construction et les ouvrages. Mesure de la vitesse du son par résonance sur éprouvettes. Mesure directe de la vitesse de propagation du son. Interprétation et exploitation des mesures de vitesse. Module d'élasticité vibratoire. Relation avec la résis-

tance du béton. Étude des pierres de taille et des roches en place. E. 20166.

CDU 620.1 : 534.321.9 : 691.

Daf m Stabilité des constructions.

77-57. Exemples de dommages dans les constructions. II (Przykłady uszkodzeń konstrukcji. II). ZENCZYKOWSKI (W.); *Inżyn. Budown.*, Pol. (juil.-août 1951), n° 7-8, p. 271-276, 16 fig. — Accidents dus aux défauts des projets, des matériaux d'exécution. Exemples : poussée agissant sur un mur de maçonnerie; défauts dans les piliers préfabriqués des fermes; construction en bois; briques défectueuses; murs en béton de mâchefer, fermes Brody, tirants dans les fermes. Quelques défauts dans les constructions en béton armé et métalliques. E. 19052. CDU 690.592.

Deb INFRASTRUCTURE ET MAÇONNERIE

Deb ja Consolidation du sol. Assèchement. Drainage.

78-57. Stabilisation électro-osmotique des sols (Electro-osmotic stabilization of soils). CASAGRANDE (L.); *J. Boston Soc. Civ. Engrs.*, U. S. A. (jan. 1952), vol. 39, n° 1, p. 51-82, 20 fig., 19 réf. bibl. — Revue des principales applications pratiques de l'électrosmose et plus spécialement du point de vue stabilisation des sols naturels et des remblayages. Principes de l'écoulement électro-osmotique à travers les réseaux capillaires; phénomènes résultant de l'application de l'électrosmose aux matériaux compressibles à grains fins; applications pratiques dans les travaux de terrassement et de fondation. E. 20076.

CDU 624.131.437.36 : 624.15.

79-57. Les propriétés des sols au point de vue constructif. La stabilisation par le procédé sol-ciment (Engineering properties of soils. Soil-cement stabilization). HANDA (C. L.), DHAWAN (C. L.), BAHRI (J. C.); *Indian Concr. J.*, Inde (15 mars 1952), vol. 26, n° 3, p. 65-70, 15 fig., 10 réf. bibl. — Les études effectuées ont porté sur les questions suivantes : quantité de ciment nécessaire pour la stabilisation par le procédé sol-ciment; recherche de la dimension de grain compatible avec un mélange sol-ciment facilement comparable; résistance développée par les différents stabilisateurs. Un sol stabilisé avec 5 % de ciment peut être utilisé pour les travaux hydrauliques, le revêtement de canaux et de cours d'eau et la construction de bâtiments. E. 20236. CDU 624.138 : 693.6 : 626.1.

80-57. Drains horizontaux. Méthode économique de stabilisation des talus (Horizontal drains. A cheaper method for stabilizing slopes). HIRSCH (A. D.); *West. Constr.*, U. S. A. (août 1950), p. 77-78, 5 fig. — Résultats obtenus en Californie pour stabiliser des glissements de terrains et des effondrements de routes en employant des drains horizontaux ou faiblement inclinés, disposés transversalement aux talus sur des longueurs de 30 à 60 m (et même 91 m). Réalisation par trous de 90 à 100 mm gainés avec des tubes en métal de 50 mm. Types d'appareils de forage utilisés. Conduite des travaux. Éléments affectant les dépenses. E. 20508. Trad. I. T. 333, 7 p.

CDU 624.138 : 696.122.

81-57. Application de la mécanique du sol. Le compactage des sols. DERVIEUX (F.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (avr.-mai 1952), n° 52-53 (Sols et Fondations, n° 7), p. 449-460, 14 fig. (résumé anglais). — Examen des différentes données caractéristiques d'une étude d'ouvrage en terre, des modalités de l'exécution et du contrôle, en vue de permettre aux entreprises d'analyser les textes nouveaux introduits dans

les Cahiers des Charges des Administrations et d'en établir les incidences sur les prix unitaires. Suggestions sur les éléments essentiels qu'il conviendrait de faire figurer dans les cahiers des charges. E. 20563.

CDU 624.138 : 690.013.

Deb je Terrassements.

82-57. Mécanisation des travaux de terrassement. II. (Mechanizacja robot ziemnych. II.). MACIEJEWICZ (W.), SZACILO (J.); *Inżyn. Budown.*, Pol. (sep. 1951), n° 9, p. 337-343, 28 fig. — Machines pour effectuer des remblais et des déblais. Bulldozers. Leurs caractéristiques techniques. Domaine d'utilisation et rendement. Différents types produits en U. R. S. S. et dans les pays de l'Ouest. Méthodes d'exploitation sur le chantier. E. 19054. CDU 624.13 : 621.879 : 690.022.

83-57. Jumbo à masque de front utilisé pour supporter le front de taille d'un tunnel (Breast-board jumbo supports caving tunnel face). WISE (L. L.); *Constr. Methods*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 34, n° 4, p. 57-60, 12 fig. — Le jumbo comportait dix-huit vérins hydrauliques. E. 20311. CDU 621.879 : 624.19.

Deb ji Fondations.

84-57. Nouvelle méthode de calcul des rideaux de palplanches métalliques et des blindages de tranchées profondes. VERDEYEN (J.), ROISIN (V.); *Ossature Metall.*, Belg. (avr. 1952), n° 4, p. 207-219, 23 fig. — Étude des rideaux de palplanches en fonction de la loi de pressions des terres et de la nature des liaisons extérieures. Méthodes à utiliser pour un rideau libre en tête, un rideau appuyé en tête, un rideau appuyé en plusieurs niveaux. Cas des blindages de tranchées profondes. E. 20162.

CDU 624.15 : 624.134 : 518.5.

85-57. DIN 1054. Fondations. Charge admissible des fondations sur semelles et sur pieux. Projet 1951, avec explications (DIN 1054. Gründungen. Zulässige Belastung von Flächen und Pfahlgründungen. Entwurf 1951 mit Erläuterungen). LORENZ (H.), EBERT (P.); Éd. : Ernst et fils, All. (1952), 13 p., 6 fig., 43 réf. bibl. — Projet de remaniement de la norme DIN 1054 établie en 1940, rendu nécessaire par les nouvelles connaissances acquises dans le domaine des charges admissibles des sols et des fondations sur pieux. Après avoir défini le but de ces nouvelles directives, les auteurs consacrent un certain nombre de paragraphes à l'étude des sols et de leur constitution, et aux procédés de sondage. Charges admissibles sous les semelles de fondations, tassements. Charges applicables aux fondations sur pieux, suivant le type de pieux considéré. E. 20284. CDU 624.15 : 624.131.

86-57. Construction sur argiles susceptibles de retrait. Quelques applications de pieux courts en béton (Building on shrinkable clays. Some applications of short concrete piles). GREEN (H.); *J. R. I. B. A.*, G.-B. (avr. 1952), vol. 59, n° 6, p. 212-213, 4 fig. — Le sol était composé d'argile tendre crayeuse sur une profondeur de 2,1 à 3,2 m reposant sur une couche de matière plus dure. On a établi au total 391 pieux en béton, d'un diamètre de 0,4 m et d'une longueur moyenne de 2,4 m. Ces pieux ont été fabriqués à raison de un pieu toutes les 6 m 1/2. Ils étaient coulés immédiatement après achèvement du forage. Autres exemples d'utilisation de pieux courts en béton. E. 20147.

CDU 624.154 : 693.54.

87-57. Évolution importante dans l'exploration du sous-sol en vue de la réalisation de fondations sur pieux (Significant developments in sub-surface exploration for piled foundations). KANTEY (B. A.); *Nasjon. Bounavorsing-sinst.*, Afr. S. (août 1951), p. 159-216, 44 fig., réf. bibl. (tiré de : *Trans. S. A. Instr. Civ. Engrs.*, vol. 1, n° 6; vol. 2, n° 12). — Inconvénients des

divers procédés de recherches courantes en vue d'établir les données fondamentales des études de fondations sur pieux. Nouvel appareil de sondage profond. Moyens utilisés pour remédier aux inconvénients des méthodes courantes; théories servant de base à la nouvelle méthode décrite. Nombreux exemples de l'emploi de ce nouveau procédé aussi bien en Afrique du Sud qu'outre-mer. Discussion par divers techniciens, réponse de l'auteur à ces observations. E. 20280. CDU 624.154 : 624.131.

88-57. Fondations sur pieux peu profonds (The short bored pile foundation). B. R. S. Dig., G.-B. (mai 1952), n° 42, 8 p., 10 fig. — On effectue avec une tarière spéciale à main ou mécanique un trou de 2,40 à 3,6 m de profondeur, puis on le remplit de béton. E. 20520. CDU 624.154.

89-57. Protection totale des bâtiments contre les accidents dus aux travaux miniers (Pelne zabezpieczenie budowli przed szkodami gornicznymi). WASILKOWSKI (F.); *Inżyn. Budown.*, Pol. (juil.-août 1951), n° 7-8, p. 276-287, 25 fig. — Le mode normal de protection suppose la possibilité des effondrements du terrain. Il est rarement justifié et conduit à des solutions peu économiques. La méthode décrite s'applique au cas où il se produit une cuvette normale, à pente très faible; elle donne dans ce cas une sécurité totale. Répartition des pressions. Solution analytique. Moments de flexion et effort tranchant dans les fondations. Rigidité des fondations. Coefficient du terrain. Résistance du sol. Calcul du rayon d'incurvation de la cuvette. E. 19052. CDU 624.15 : 690.592.

90-57. Essais d'affaissement de constructions sur deux types de fondations (Building settlement tests on two foundation types). HOLCOMB (G. W.), BROWN (P. P.); *West. Constr.*, U. S. A. (mars 1952), vol. 27, n° 3, p. 72-73, 139, 5 fig. — L'une des constructions était établie sur semelles; l'autre sur pieux. E. 20309. CDU 624.15 : 690.592.

Deb le Mortiers.

91-57. Résultats d'essais exécutés de 1948 à 1950 sur du mortier de ciment (Rezultati ispitanih cementa u vremenu od pocetka 1948 do kraja 1950 godine). MATIC (V.); *Savezni Inst. Građevinarstvo*, Yougosl. (déc. 1951), n° 7, 70 p. (résumé français). — Résultats d'essais sur mortier normal prolongés pendant trois ans. Emploi de quinze variétés de ciment. On donne dans 58 tableaux et 27 diagrammes la résistance à la traction et à la compression. E. 20177. CDU 691.53 : 691.54 : 620.1.

Deb li Bétons.

92-57. Mémoires sur la mécanique-physique du béton. IV. Etudes expérimentales récentes sur le retrait des ciments et des bétons. L'HERMITE (R.), GRIEU (J.-J.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (avr.-mai 1952), n° 52-53 (Liants hydrauliques, n° 9), p. 491-514, 46 fig. (résumé anglais). — Résultats des essais de retrait sur des pâtes pures de ciment et des influences diverses sur le retrait ainsi que l'influence d'additions diverses et de traitement. En ce qui concerne le retrait des bétons, relation entre le retrait des bétons et celui des ciments; fissuration spontanée du béton et influence du chlorure de calcium sur le retrait. E. 20563.

CDU 691.328 : 539.37.

93-57. Mélanges stables pour béton (Stable concrete mixes). BERGSTRÖM (S. G.); *Svenska Forskningsinst. Cements Betong Kungl. Tek. Högskolan Stockholm*, Suède (1951), Meddel. n° R 24, 30 p., 30 fig., 6 réf. bibl. — Si l'on considère le béton comme une « suspension » de l'aggrégat dans une pâte de ciment, on peut admettre qu'il existe trois procédés pour stabiliser un mélange sujet à la ségrégation : diminution du rapport eau-ciment; augmentation

de la quantité des agrégats fins et grossiers; augmentation de la finesse totale moyenne des agrégats. Effets de l'addition de résines. Matériel utilisé pour les essais. Essais effectués. Applications pratiques. E. 20283. CDU 691.322.

94-57. Influence du coffrage et des armatures sur la granulométrie du béton (Wplyw deszkowania i zbrojenia na uziarnienie betonu). LEMPICKI (J. I.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (sep. 1951), n° 9, p. 346-348, 5 fig. — Adaptation de la composition du béton à la forme et aux dimensions des armatures et du coffrage. Dimensions de la « maille » de l'armature et granulométrie des agrégats. Effet de paroi du coffrage. Directives pour un projet éventuel. E. 19054. CDU 691.328 : 690.575 : 621.791.

95-57. Études concernant la réaction ciment-agrégat. IX à XV (Studies in cement-aggregate reaction. IX-XV). *Commonwealth sci. industr. Res. Organ. Austral.*, Austral. (1950), n° 256, p. 7-78, 40 fig., 10 fig. h. t., 33 réf. bibl. — JONES (R. H.), VIVIAN (H. E.): Quelques observations sur un mortier contenant un agrégat réactif. VIVIAN (H. E.): L'effet sur la dilatation du mortier, de la quantité de composant réactif dans l'agréat. L'effet sur la dilatation du mortier de la quantité d'eau disponible dans le mortier. L'effet de la quantité de bases ajoutées sur la dilatation du mortier. L'effet de l'hydroxyde de sodium ajouté sur la résistance à la traction du mortier. L'effet de petites quantités de composant réactif dans l'agréat sur la résistance à la traction du mortier. Le produit de réaction des bases et de l'opale. E. 20202. CDU 691.322 : 691.54.

96-57. Mesure de l'humidité des agrégats. (Measuring moisture content of aggregates). McINTOSH (J. D.); *Constr. Rev.*, Austral. (fév. 1952), vol. 24, n° 10, p. 19-22, 6 fig., 4 réf. bibl. — Nouvelles méthodes de mesures remplaçant le pycnomètre. Utilisation d'un verre gradué spécial ou d'un cylindre métallique relié à un tube gradué. E. 20105. CDU 691.322 : 697.942 : 620.108.

97-57. Poussée horizontale des bétons plastiques (Rozpor poziomy plastycznych betonow). IWASYK (S.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (juil.-août 1951), n° 7-8, p. 292-294, 2 fig. — Le calcul d'un coffrage économique est conditionné par la connaissance de la poussée du béton frais. Cette poussée dépend : de la profondeur, de l'époque par rapport à la prise, de la rapidité de la prise, de la rapidité avec laquelle progresse le travail, de la plasticité du béton, du nombre et de la répartition des armatures. Tous ces facteurs sont passés en revue et on propose une formule générale. E. 19052. CDU 691.328.2 : 691.71 : 690.575 : 518.5.

98-57. L'influence du retrait et du fluage dans les poutres hyperstatiques. I (Der Einfluss des Schwindens und Kriechens bei Verbundträgern). WALTER (H.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (mai 1952), n° 5, p. 110-114, 7 fig., 20 réf. bibl. — Aperçu de l'ordre de grandeur des contraintes possibles dans la construction composée, principalement pour les systèmes statiquement indéterminés et de l'interdépendance de ces contraintes et des constantes physiques du béton. Les formules et leur établissement, donnés dans cet ouvrage reposent sur l'hypothèse simplificatrice que l'on peut négliger la raideur de la section de béton devant la section des aciers et que les poutres continues ont un moment d'inertie constant. E. 20409. CDU 690.237.22 : 691.32 : 539.37.

99-57. Calcul des coffrages en bois et en acier pour le béton. V. (fin) (The design of timber and steel formwork for concrete. V.) HUNTER (L. E.); *Civ. Engng.*, G.-B. (avr. 1952), vol. 47, n° 550, p. 313-314, 5 fig. — Cas de ponts d'ouverture moyenne, d'arcs de grande portée. Emploi de poutres à treillis en bois ou en charpente soudée. Pose des articulations de la charpente. Ancrage des sommiers. Déformation des arcs de béton après décoffrage. Différents types de ponts ne

rentrant pas dans des catégories courantes. Ponts de construction cellulaire. Méthode de coffrage du cloisonnement de ces ponts. Coffrages des dalles formant platelages. E. 20103. CDU 691.32 : 690.575 : 694.1.

100-57. Mémoire sur la réalisation de coffrages dans un ouvrage (Memoria sobre la construcción de encofrados en una obra de edificación). DE BLAS GOMEZ (I.); *Inst. tec. Constr. Cemento*, Esp. (jan. 1951), n° 111, 53 p., 40 fig., 4 fig. h. t. (résumés français et anglais h. t.). — Étude détaillée relative aux travaux exécutés à Madrid pour la construction d'un grand immeuble. E. 20456. CDU 691.32 : 690.575 : 728.2.

101-57. Coffrages mobiles pour la construction en béton (Moving forms for concrete construction). BROUGHTON (H. H.); *Reinf. Concr. Rev.*, G.-B. (oct. 1951), vol. 2, n° 7, p. 407-449, 26 fig. — Extrait copieux d'un mémoire présenté à l'Association du béton armé à Londres le 23 janvier 1934 et les 17 avril et 17 octobre 1951. Discussion. E. 20526. CDU 691.32 : 690.575.

102-57. Les coffrages glissants (Ueber die Gleitschalung). *Allg. Bau-Ztg.*, Autr. : II (6 fév. 1952), n° 284, p. 3-4; III (13 fév. 1952), n° 285, p. 3-4; IV (20 fév. 1952), n° 286, p. 3-4; V (fin) (27 fév. 1952), n° 287, p. 3-4. — Inconvénients des panneaux en tôle; avantages des panneaux en bois d'essence bien choisis; précisions sur les dispositifs à adopter pour permettre le glissement facile; dispositifs utilisés pour le déplacement des panneaux. Considérations sur l'organisation des chantiers. E. 20446, 20447, 20448, 20449. CDU 691.32 : 690.575.

103-57. Industrialisation de l'exécution des travaux en béton (Drogi uprzemy slowienia wykonawstwa robot betonowych). FISZER (W.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (juil.-août 1951), n° 7-8, p. 313-316, 5 fig. — Rationalisation de la granulométrie des agrégats pour assurer l'homogénéité et la reproductibilité de la qualité du béton. Influence des bétonnières et de la vibration sur la qualité du béton. Modes de transport : par wagonnets et grue, par transporteurs à courroie, par pompe à béton (pour production en série). Nécessité des études sur les vibrateurs et des sables vibratiles. E. 19052. CDU 691.328 : 690.022.

104-57. La production centrale du béton aux États-Unis. GRAVE (A. de); *Ann. Trav. publ. Belg.*, Belg. (avr. 1952), n° 2, p. 273-296, 5 fig. (résumé flamand). — Historique et développement de la fabrication du béton en centrale aux États-Unis. Équipement de production et de distribution. Organisation d'un chantier de production. Particularités de l'équipement. Contrôle du béton. Comparaison de deux procédés : transport du béton plastique ou transport par camion-bétonnière fonctionnant en route. Avantages, prix de revient, conception commerciale de cette industrie. E. 20565. CDU 690.577 : 621.929.

105-57. Usines modernes pour la fabrication massive des bétons. *Bull. tech. Suisse romande*, Suisse (3 mai 1952), n° 9, p. 134-136, 2 fig. — Description de la composition et du fonctionnement de l'usine à béton américaine du type Johnson pouvant produire 330 m³ de béton par heure. E. 20264. CDU 691.328 : 621.929.

106-57. Centrale à béton, mécanisme et outillage (Concreting plant, machinery and tools). *Builder*, G.-B. (2 mai 1952), n° 5698, p. 667-669, 4 fig. — Progrès réalisés en matière d'installations pour le mélange du béton en vue de l'application aux chaussées en béton et aux pistes d'aérodromes. Manutention des agrégats, de l'eau; mélangeurs et bétonnières. Matériel utilisé pour le compactage et la finition. E. 20310. CDU 691.328 : 621.929 : 693.556.4.

107-57. La vibration du béton. BARCELO (G.); Éd. : Eyrolles, Paris (1952), 1 vol., 219 p., nombr. fig., 282 réf. bibl. (traduit de l'espagnol par M. J. RICOUARD). — Voir ana-

lyse détaillée B-647 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20267. CDU 693.556.4 (02).

108-57. Béton vibré et cubes de mortier : répartition de la résistance à la compression (Vibrated concrete and mortar cubes : distribution of compressive strength). WILLIAMS (T. E. H.); *Magaz. Concr. Res.*, G.-B. (mars 1952), n° 9, p. 107-112, 12 fig., 2 réf. bibl. — Étude détaillée de la variation de la résistance dans les cubes de mortier et de béton vibrés. Résultats de quatre séries d'essais, le rapport eau-ciment restant constant dans chaque série, mais variant d'une série à l'autre. Influence de la granulométrie des agrégats. Essais comparatifs de deux modes de vibration différents. Coefficients de variation de résistance résultant des essais. Influence réduite du mode de vibration. E. 20075. CDU 693.556.4 : 620.171.

109-57. Applications du béton sous vide (Applications of vacuum concrete). BILLNER (K. P.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (mars 1952), vol. 23, n° 7, p. 581-591, 16 fig., 1 réf. bibl. — Pendant ces dernières années, ce procédé a été appliqué dans divers pays, principalement en Europe. Indication de l'évolution du procédé dans ces pays et des nouvelles méthodes de construction. Applications faites en Belgique, en Colombie, en Égypte, en France, en Italie, en Espagne et dans l'Union Sud-Africaine. E. 20109. CDU 691.328.

110-57. Le chlorure de calcium dans le béton (Calcium chloride in concrete). SHIDLER (J. J.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (mars 1952), vol. 23, n° 7, p. 537-559, 26 fig., 27 réf. bibl. — Le chlorure de calcium est utilisé depuis longtemps pour accélérer au début la résistance du béton. Incertitude des autres influences de ce corps sur le béton. Résultats d'essais sur les effets du mélange de CaCl₂ au béton et sur ses diverses propriétés. Comparaison avec les résultats d'autres auteurs et conclusions générales. E. 20109. CDU 693.552.7 : 691.328.

111-57. Le béton de décombres. Contribution apportée à son étude (Schüttbeton. Versuchsergebnisse und Erfahrungen). *Fortschritte-Forschungen Bauwesen*, All. (Frankh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, All. (1951), Série C, n° 2, 64 p., 104 fig., réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-668 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20381. CDU 691.322 (02).

112-57. Béton à entraînement d'air pour utilisation dans l'eau de mer (Air-entrained concrete for use in sea water). FLUSS (P. J.); *West. Constr.*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 27, n° 4, p. 77-78, 7 fig. E. 20351. CDU 691.328 : 620.193 : 699.8.

113-57. Dosage des bétons poreux (Dosoowanie betonow porowatych). EYMAN (K.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (jan. 1952), n° 1, p. 26-28. — Transformation des formules classiques de dosage des bétons ordinaires en y faisant entrer un terme complémentaire qui tient compte de la quantité d'eau de gâchage absorbée par le matériau poreux. Détermination de la quantité des agrégats et de la consistance du béton. Exemple numérique détaillé (béton de mâchefer). E. 19447. CDU 691.328 : 691.322.55.

114-57. Comptes rendus de l'Assemblée générale de l'Association allemande du béton à Wiesbaden, 11 et 12 avril 1951 (Hauptversammlung am 11. und 12. april 1951 in Wiesbaden. Vorträge. Deutscher Beton-Verein (E. V.). Éd. : Deutscher Beton-Verein (E. V.), Wiesbaden-Eigenheim, All., 1 vol., 371 p., 46 fig., réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-670 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20498. CDU 693.54 (02).

115-57. Cent ans de construction au ciment (100 Jahre Bauen mit Zement). MISCH (P.); *Bauwirtschaft*, All. (6 mai 1952), n° 18-19, p. 399-405, 19 fig. — Revue historique depuis les essais de fabrication du ciment Portland en 1852. Étapes des constructions en ciment et en béton armés. E. 20373. CDU 693.54 : 691.542.

Deb m Maçonnerie.

116-57. Problème de l'équipe et de l'organisation du travail dans les travaux de maçonnerie (Zagadnienie zespołowości i organizacji pracy w robotach murarskich). CZERNY (E.); WOLNIAK (T.); *Przegl. Budowl.*, Pol. (oct. 1951), n° 10, p. 448-456, 23 fig. — Travail par équipes de deux, trois ou cinq ouvriers; travail à la chaîne. Expérience acquise aux U. S. A. et en U. R. S. S. Outils simples et calibres pour les ouvertures. Systèmes de pose des briques. Echafaudages et banquettes démontables simples. Transport des briques, rampes de transbordement, containers. Problème de la petite mécanisation du travail. E. 17937.

CDU 693.1 : 690.022.

117-57. Obtention de la résistance nécessaire des murs exécutés en hiver (Uzyskiwanie potrzebnej wytrzymałości murów w okresie robót zimowych). PRZESTĘPSKI (W.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (oct. 1951), n° 10, p. 380-383, 6 fig. — Discussion des éléments de base du problème : quantité de calories dégagées par différents types de mortiers, température du mur au moment de son exécution selon les températures des briques et du mortier; pertes calorifiques horaires par mètre carré du mur selon les températures extérieures et modes de protection; résistance du mortier (en pour cent R 28) suivant l'âge, la température étant supérieure à 0°, selon le pourcentage d'addition du CaCl₂. E. 19055.

CDU 693.1 : 620.192.422.

118-57. Murs secs (Mury suche). MAYZEL (B.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (fév. 1952), n° 2, p. 57-62, 14 fig., 2 réf. bibl. — Description de nombreux systèmes utilisés à l'étranger ou projetés en Pologne pour la construction des murs en éléments spéciaux, sans intervention de mortier. On réalise ainsi l'indépendance vis-à-vis des conditions climatiques lors du travail et une économie de main-d'œuvre et de transport. Les caractéristiques acoustiques et l'isolation calorifique sont améliorées. Nombreux types de briques (à emboîtement, à surfaces ondulées, etc.), utilisées sans ou avec matériau d'interposition. E. 19656.

CDU 693.2 : 691.421 : 690.031.

119-57. Exécution des constructions en maçonnerie en hiver (Wykonywanie konstrukcji murych w porze zimowej). NICZEWSKI (T.); *Przegl. Budowl.*, Pol. (nov. 1951), n° 11, p. 486-490, 6 fig., 5 réf. bibl. — Réchauffage artificiel des murs de l'intérieur du bâtiment. Conservation de la chaleur. Abris provisoires. Réchauffage électrique (briques chauffantes) et à la vapeur. Utilisation des mortiers à prise rapide (à base de ciment et de plâtre). Influence de la température et du gel sur la résistance du mortier. Résistance à la pression des murs lors du dégel. Résistance à la traction; cisaillement et flexion. E. 18175.

CDU 693.1 : 699.8 : 620.192.422.

120-57. Défauts des briquetages des murs et des planchers (Causes and prevention of failures of wall and floor tiling). WATERS (E. H.); *Constr. Rev.*, Austral. (2 fév. 1952), vol. 24, n° 10, p. 27-31, 5 réf. bibl. — Introduction. Causes et effets de la dilatation et de la contraction : retrait, variations des températures, de l'humidité, détails de construction diminuant les effets des contraintes de compression. Liaison brique-mortier, causes d'une mauvaise liaison et ses effets. Défauts divers. Emplois d'adhésifs pour la pose des briques. Ce qu'on doit employer, ce qu'on doit éviter. Références. E. 20105.

CDU 693.2 : 691.421.

121-57. Évaluation des tensions dans les mortiers des murs exécutés en hiver (Ustalanie naprężeń w zaprawach dla murów wykonywanych w porze zimowej). PRZESTĘPSKI (W.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (sep. 1951), n° 9, p. 344-346, 2 fig. — La méthode qui consiste à laisser geler un mur fraîchement construit et à attendre le dégel pour que se poursuive la prise et le durcissement du mortier présente bien des dan-

gers. Des mesures spéciales doivent être prises. Étude de : 1° la relation qui existe entre la résistance du mur et la résistance du mortier pour différents types de briques; 2° des tensions admissibles dans le mur en fonction de la résistance du mortier et du nombre d'étages de l'immeuble. E. 19054.

CDU 693.1 : 690.192.422.

Deb mo Enduits.
Revêtements.

122-57. Réparation par la gunité d'un pavillon monté au bord d'un étang sur des piliers en béton qui se dégradèrent et se fissurèrent (Gunité repairs manly pool pavilion). *Constr. Rev.*, Austral. (3 mars 1952), vol. 24, n° 11, p. 18-23, 6 fig. E. 20331.

CDU 728.68 : 690.593 : 693.625.

123-57. Développement technique des machines pour la fabrication des dalles Terrazzo et des dalles de trottoirs (Machinentech-nische Entwicklungen der Terrazzo-und Gehwegplatten-Herstellung). KOPTON (H.); *Betonst. Ztg.*, All. (avr. 1952), n° 4, p. 138-146, 24 fig., (résumés anglais et français). — Particularités et propriétés des panneaux de revêtement des planchers et des murs. Tendance constante à l'amélioration des machines. Presses et machines à meuler les panneaux, leur emploi. Diverses marques de machines utilisables. Presses vibrantes, presses à table tournante, pilonneuses, fraiseuses à panneaux. Machines pour pièces spéciales : marches d'escaliers, appuis de fenêtres, etc... Machines portatives. E. 20107.

CDU 693.6 : 691 : 413 : 621.9.

124-57. Des panneaux brillants préfabriqués enveloppent des gratte-ciels (Shining prefabricated panels enclose skyscrapers). *Engng. News-Rec.*, U. S. A. (24 avr. 1952), vol. 148, n° 17, p. 67-68, 5 fig. — E. 20348.

CDU 693.6 : 720.922.2.

Deb ne Béton armé.

125-57. Essais sur des poutres de béton armées de fils d'acier n° 12 ayant une résistance limite de 190 kg/mm² (Tests on concrete beams reinforced with 12 gauge wires of an ultimate strength of 120 tons per sq. in.). HAJNAL-KONYI (K.); *Magas. Concr. Res.*, G.-B. (mars 1952), n° 9, p. 113-121, 12 fig., 4 réf. bibl. — Description et résultats d'essais effectués sur deux poutres armées de vingt-huit fils n° 12. Résistance du béton. Mode de la rupture constatée. Nombreuses mesures d'allongement effectuées au cours des essais. Répartition des contraintes. La contrainte de rupture des aciers s'est révélée supérieure à celle que l'on attendait d'après le diagramme contrainte-allongement de l'acier. E. 20075.

CDU 690.237.22 : 693.55 : 620.1.

126-57. Calcul des colonnes de béton armé sous charges excentrées. I (The design of eccentrically loaded reinforced concrete columns. I). COWAN (H. J.); *Civ. Engng.*, G.-B. (avr. 1952), vol. 47, n° 550, p. 296-298, 10 fig. — Nouvelle méthode basée sur le principe de superposition. Règles pour définir la hauteur de l'axe neutre. Exposé du procédé. Hypothèses sur lesquelles il repose. Notations et définitions. Étude des quatre phases en lesquelles se divise le problème. Calcul de la section avec barres d'armature en traction seulement. E. 20103.

CDU 690.237.52 : 693.55 : 518.5.

127-57. Principes et problèmes de technique des matériaux pour le béton armé, du point de vue de l'orientation future de la construction en béton armé (Die materialtechnischen Grundlagen und Probleme des Eisenbetons im Hinblick auf die zukünftige Gestaltung der Stahlbeton-Bauweise). ROß (M.); *Eidgenössische Materialprüfungs Versuchsanstalt Industr., Bauwesen Gewerbe*, Zurich, Suisse (1950), Rapport n° 162, xi + 314 p., 515 fig. — Rapport sur des essais relatifs à la résistance statique et à la fatigue du béton armé et non armé, sur

le retrait et le fluage, sur les propriétés diverses des aciers à béton. Ces essais ont également porté sur la déformation et la fissuration de poutres qui comportaient des armatures de divers types, sur la résistance au flambage et sur le béton précontraint. E. 20450.

CDU 691.328 : 539.37.

128-57. Considérations sur les prismes en béton armés d'un seul côté et comprimés suivant l'axe (Betrachtungen über einseitig bewehrte, axial gedrückte Stahlbeton-Versuchsprismen). GEBAUER (F.); *Beton Stahlbetonbau*, All. (avr. 1952), n° 4, p. 79-82, 6 fig., 3 réf. bibl. — Utilisation de résultats d'essais effectués en 1912-1923 par BACH et GRAF. Influence du retrait. Charges d'essais et leur mode d'action. Conséquences de la suppression des charges. Charges de rupture. Action moyenne des charges. E. 19963.

CDU 691.328 : 539.37 : 620.1.

129-57. Nouvelles méthodes de calcul des pièces en béton armé soumises à la flexion (Os novos metodos de dimensionamento das peças flectidas de concreto armado). VAN LANGENDONCK (T.); *Inst. Pesquisas Tech. Sao Paulo*, Brésil (1937), 20 p., 25 fig. (tiré de : *Boletim Inst. Engenharia*, juin 1937). — Observations générales sur les nouvelles méthodes de calcul du béton armé, où il n'est pas tenu compte du rapport entre les modules d'élasticité du fer et du béton. Méthode appliquée au dimensionnement économique des pièces fléchies, avec armature simple ou double. Exemples d'application. E. 20098.

CDU 693.55 : 518.5.

130-57. Charges sur les dalles de plancher en béton armé et déformations de ces dalles pendant la construction (Loads on reinforced concrete floor slabs and their deformations during construction). NIELSEN (K. E. C.); *Svenska Forskningsinst. Cement Betong Kungl. Tek. Högskolan Stockholm*, Suède (1952), Handlin-gar n° R 15, 112 p., 102 fig., 10 réf. bibl. — Exposé d'une méthode basée sur la théorie élastique, pour le calcul de la répartition de la charge dans les coffrages pendant la construction des dalles de plancher. Exemples numériques. Effets du retrait, du fluage, de la variation de la teneur en humidité des bois de coffrage. Mesure de l'humidité, de la charge exercée sur les coffrages et des déformations. E. 20282.

CDU 691.32 : 690.575 : 518.5.

131-57. Le problème des joints dans les constructions préfabriquées en béton armé (Zagadnienie złącza w prefabrykowanych ustrojach żelbetowych). ZALEWSKI (M.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (juin 1951), n° 6, p. 254-257, 10 fig., 1 réf. bibl. — Joints métalliques simples permettant le démontage éventuel du bâtiment, pouvant être recouverts de béton contre l'incendie mais peu rigides. Joints en béton armé avec armatures en attente permettant une construction monolithique rigide. Différents types utilisés en U. R. S. S. Nécessité d'étudier ce problème au laboratoire. E. 19053.

CDU 693.510.688.5 : 693.057.1.

132-57. Joints de dilatation dans les constructions en béton armé. I (Szczeliny dy-latacyjne w konstrukcjach żelbetowych. I). DANILECKI (W.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (juin 1951), n° 6, p. 257-262, 6 fig., 4 réf. bibl. — Préparation et exécution des joints de dilatation. Erreurs commises fréquemment dans ce domaine; moyens de les éviter. Nécessité d'utiliser des joints par suite de tassements du terrain, de retrait du béton et de changements de température. Influence des joints de dilatation dans les ossatures sur les autres travaux du bâtiment et sur le caractère architectonique. E. 19053.

CDU 693.510.688.5.

133-57. Joints de dilatation dans les constructions en béton armé. II. (fin) (Szczeliny dy-latacyjne w konstrukcjach żelbetowych (Dokon-czenie)). DANILECKI (W.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (juil.-août 1951), n° 7-8, p. 287-291, 16 fig., 3 réf. bibl. — Répartition des joints de dilata-tion. Détails constructifs. Méthodes réduisant

les effets du retrait du béton dans les constructions en béton armé. Recouvrement superficiel des joints. E. 19052. CDU 691.328 : 539.37.

134-57. Section rectangulaire de béton armé, à armatures doubles, soumise à une compression composée (Podwójnie zbrojony prostokątny przekrój żelbetowy sciskany mimosrodkowo). KOZŁOWSKI (T.); *Inżyn. Budown.*, Pol. (juil.-août 1951), n° 7-8, p. 294-299, 3 fig., 5 réf. bibl. — Justification des formules du paragraphe VIII de la circulaire B de la norme PN/B-199. Cas d'une grande excentricité. Établissement des formules pratiques. Détermination des efforts statiques. Discussion et exemples numériques. Limitation des armatures soumises à la compression. E. 19052. CDU 691.328 : 518.5.

135-57. Détermination des sections en béton armé soumises à la flexion oblique selon la théorie des déformations plastiques (Projektowanie żelbetowych przekrojów ukośnych zginanych wg teorii plastycznych odkształcen). GAWLIŃSKI (O.); *Inżyn. Budown.*, Pol. (sep. 1951), n° 9, p. 348-353, 9 fig. — Étude limitée à la recherche des armatures pour une section donnée. Le procédé s'applique surtout aux sections quelconques ou aux sections symétriques lorsque la force due aux charges n'agit pas dans le plan de la section. Dans la première phase on suppose une répartition rectangulaire des contraintes, dans la deuxième phase une répartition parabolique conforme à la norme : PN/B-199. Le calcul se fait en partie graphiquement. E. 19054. CDU 693.55 : 539.37 : 518.5.

136-57. Armatures en acier à haute résistance à la traction (High tensile steel reinforcement). GRANHOLM (H.); *Reinf. Concr. Rev.*, G.-B. (oct. 1951), vol. 2, n° 7, p. 451-455, 2 fig. — E. 20526. CDU 691.328 : 691.71.

137-57. Matériau de remplacement pour les armatures de béton (A substitute for reinforcement bars). DEWS (N. A.); *Concr. Constr. Engng.*, G.-B. (avr. 1952), vol. 47, n° 4, p. 121-122, 1 fig. — Il est possible d'utiliser, comme armature pour le béton armé, des rails de tramway ou de chemin de fer désaffectés. Application à un pont d'une portée de 3,65 m. En employant comme armature un rail pesant 9,850 kg/m, on est arrivé à un poids total de 880 kg/m². Économie réalisée grâce à l'emploi de ces rails. E. 20054. CDU 691.328 : 625.1.

138-57. Les aciers dans le béton et la notion de sécurité (Reinforcing steel in concrete and the concept of safety). HAJNAL-KONYI (K.); *J. A. C. I.*, U. S. A. (mars 1952), vol. 23, n° 7, p. 561-580, 23 fig., 3 réf. bibl. — Documentation sur les essais comparatifs effectués sur trente-six poutres armées de différents types de ronds. Avantages de l'acier façonné à froid : il « prévient » avant rupture. Avantages des aciers façonnés sur les barres droites. Renseignements sur ces essais. Rupture des armatures non précontraintes. Mesure des allongements qui confirment un accord très approché avec la méthode de Whitney pour la détermination de l'axe neutre. E. 20109. CDU 691.328 : 691.71 : 620.1.

139-57. Poutres armées en acier Tor « 40 » de 10, 20 et 30 mm de diamètre sollicitées en flexion à la rupture statique et à la fatigue. Armatures en acier sans crochets terminaux. Le comportement de l'acier Tor aux températures élevées des incendies (Mit Tor-Stahl « 40 » von 10, 20 und 30 mm Durchmesser bewehrte, durch statischen Bruch und Ermüdung erschöpfte Biegebalken. Stahlbewehrung ohne Endhaken. Das Verhalten des Tor-Stahls « 40 » bei hohen Brandtemperaturen). RÖS (M.); *Eidgenössische Materialprüfungs Versuchsanstalt Industr.*, *Bauwesen Gewerbe*, Zurich, Suisse (jan. 1950), Rapport n° 176, 46 p., 54 fig., 1 pl. h. t. — Compte rendu d'essais avec un enrobage compact des armatures de traction dans du béton à haute résistance; l'acier Tor « 40 » peut être

employé sans crochets terminaux jusqu'à 20 mm. Des essais effectués sur l'acier Tor, à des températures de 400° qui sont celles des incendies violents, ont montré la constance des propriétés initiales de cet acier aussi bien pendant qu'après l'incendie. En annexe, conclusions en : français, italien, anglais, espagnol. E. 20454. CDU 691.328 : 691.71 : 699.81.

140-57. Aciers crénelés pour béton (Quergerippter Betonformstahl). *Bauwirtschaft*, All. (26 avr. 1952), n° 17, p. 354-355, 4 fig. — Caractéristique des aciers crénelés pour béton, donnée en complément de la norme DIN 1045; leurs dimensions, leurs propriétés et les contraintes admissibles. E. 20274. CDU 691.328 : 691.71 : 389.6.

141-57. Les aciers Queri. Nouveaux aciers à béton crénelés utilisés en Allemagne (Quer-Stahl - ein neuer deutscher Betonformstahl). ERNST (W.); *Bauwirtschaft*, All. (6 mai 1952), n° 18-19, p. 410-412, 6 fig., 5 réf. bibl. — Description des nouveaux aciers ronds munis de nervures longitudinales et transversales utilisés dans la construction en béton armé. Propriétés et diverses formes de ces aciers. Leur résistance et leur adhérence est telle qu'elle permet de supprimer les crochets d'extrémités. Conseils sur le façonnage de ces aciers. E. 20373. CDU 691.328 : 691.71.

142-57. Armatures préfabriquées pour béton armé. I (Prefabrykowane zbrojenie żelbetu. I). NICEWSKI (T.); *Inżyn. Budown.*, Pol. (juin 1951), n° 6, p. 249-253, 13 fig. — Avantages résultant de l'utilisation des armatures préfabriquées. Données techniques pour leurs réalisations. Différents types utilisés : treillis continus en rouleaux, treillis soudés (écartement des éléments). Armatures pour dalles continues. Treillis relevés aux bords. Armatures pour piliers. E. 19053. CDU 691.328 : 691.71 : 693.057.1.

Deb ni Béton précontraint.

143-57. Le pont de Paris, à Beauvais. Ouvrage en béton précontraint de 119 m de longueur. KUNTZ (R.); *Tech. Trav.*, Fr. (mai-juin 1952), n° 5-6, p. 178-186, 18 fig. — Description d'un pont-route en béton précontraint en dalle continue de quatre travées inégales de 25,5 à 35,5 m de portée. E. 20517. CDU 624.27 : 693.57.

144-57. Les premières voûtes en béton précontraint dans un barrage poids (The first prestressed concrete arches in a gravity dam). MUCK SHIFTER, G.-B. (mai 1952), vol. 10, n° 5, p. 221-223, 4 fig. — Historique de l'ouvrage de CLAERWEN, dans le Pays de Galles; détails de la fabrication des éléments des voûtes et de leur mise en place par transporteurs à câbles. Il y a treize voûtes dont une voûte centrale de 18,3 m et six de chaque côté de 12,2 m de portée. Chaque voûte comporte sept sections préfabriquées posées côte à côte. E. 20268. CDU 627.8 : 690.236 : 693.57.

145-57. Essai à la rupture de la passerelle en béton précontraint de l'Exposition de la Rive Sud, à Londres (Testing a prestressed concrete bridge). *Engineer*, G.-B. (23 mai 1952), vol. 193, n° 5026, p. 707-708, 4 fig. — La passerelle qui avait été calculée pour une charge de 35 t s'est effondrée sous une charge de 85 t. On a constaté un manque de liaison entre les câbles et le béton du fait que le coulis injecté par les extrémités n'avaient pas pénétré le long des câbles. E. 20521. CDU 693.57 : 624.27 : 620.1.

146-57. Toiture constituée par des dalles de béton précontraint mise en place par vérins (Lift-slab concrete roof prestressed). KOEBEL (F. E.); *Engng. News-Rec.*, U. S. A. (10 avr. 1952), vol. 148, n° 15, p. 77-78, 4 fig. — Fabrication et précontrainte des dalles coulées à plat sur le sol. Utilisation de la méthode de Youtz-Slick. Dimensions et caractéristiques des dalles. On a utilisé deux techniques différentes. Exécution de la précontrainte dans deux

directions rectangulaires. Les contraintes de cisaillement sont de peu d'importance. Étude des résultats d'essais sur modèles. Procédés qui économisent l'acier. E. 20104. CDU 690.24 : 691 — 413 : 693.57.

147-57. Traverses en béton précontraint en France (Spannbetonstützen in Frankreich). MISCH; *Beton Stahlbetonbau*, All. (avr. 1952), n° 4, p. 90-92, 6 fig., 5 réf. bibl. — Deux nouveaux procédés français de fabrication de traverses en béton : Freyssinet et Valette-Weinberg-S. N. C. F. Description de la fabrication suivant les deux procédés; caractéristiques des traverses obtenues. Machines utilisées pour la fabrication. E. 19963. CDU 625.142 : 693.57.

148-57. Planchers en béton précontraint (Die Spanntondecke). LEITL (K.); *Oesterr. Bauztg.*, Aut. (26 avr. 1952), n° 17, p. 6-9, 7 fig. — Nature et caractéristiques du béton précontraint. Transmission de l'adhérence. Mesure de la précontrainte. Le problème des planchers dans la construction. Emploi de la terre cuite. Le plancher en béton précontraint, son économie, économie de métal. Perspectives d'avenir. E. 20143. CDU 690.25 : 693.57.

149-57. Ponts en béton précontraint en Autriche (Vorgespannte Stahlbetonbrücken). BITTENBINDER (N.); *Oesterr. Bauztg.*, Aut. (17 mai 1952), n° 20, p. 6-8, 4 fig. — Bref historique, directives générales et exemples. E. 20443. CDU 624.27 : 693.57.

150-57. De la précontrainte obtenue au moyen d'injections de ciment dans les galeries revêtues de béton (Sulla precompressione, ottenuta mediante iniezioni di cemento, nelle gallerie rivestite). CARPINO (U.); *Energ. elettr.*, Ital. (avr. 1952), vol. 29, n° 4, p. 245-251, 5 fig., 4 réf. bibl. — Des exemples prouvent que les effets dus à la prise et au retrait sont pratiquement négligeables. E. 20441. CDU 691.328.2 : 539.37.

151-57. La discontinuité dans les tuyaux en béton précontraint (Discontinuity in prestressed concrete pipes). OOOYKAAS (C. A. P.); *Magaz. Concr. Res.*, G.-B. (mars 1952), n° 9, p. 131-138, 7 fig. — Étude des contraintes aux extrémités de tuyaux de béton précontraint, à la jonction entre le tuyau précontraint et les extrémités non précontraintes. Hypothèses. Étude dans le sens longitudinal. Résultats : déformations, moments, cisaillement, précontrainte. Influence de la déformation plastique. Remarques finales. E. 20075. CDU 621.6 : 691.328.2 : 518.5.

152-57. Constructions statiquement indéterminées en béton précontraint (Prestressed concrete statically indeterminate structures). THOMAS (F. G.); *Prestress. Concr. Developm. Group*. (Magaz. Concr. Res.), G.-B. (mars 1952), 3 p. — Résumé de comptes rendus établis précédemment sur la question. Travail expérimental, difficultés soulevées par le frottement des câbles, répartition nouvelle des moments et des contraintes. Étude théorique des moments secondaires. E. 20337. CDU 691.328.2 : 539.37.

153-57. Éléments précontraints soumis à la compression (Elementy sciskane rostopnie sprezone). EIMER (C.); *Inżyn. Budown.*, Pol. (juin 1951), n° 6, p. 240-248, 9 fig., 10 réf. bibl. — Généralités sur les constructions précontraintes; description des éléments, travaillant à la compression, composés de blocs et utilisant la précontrainte. Bases théoriques de calcul de ces éléments (exemples avec conditions aux limites diverses : encastres, libres, etc.). Résultats : pour une précontrainte modérée et un nombre suffisant de points de contact du câble avec l'élément on peut utiliser la formule d'Euler sans commettre d'erreurs importantes; cependant il est souhaitable de tenir compte des variations du module d'élasticité. E. 19053. CDU 691.328.2 : 539.37.

154-57. Poutres DMS en béton précontraint (Belki strunobetonowe DMS). KAJFASZ (S.);

Inzyn. Budown., Pol. (juil.-août 1951), n° 7-8 : *Biul. Inst. tech. Budowl.*, p. 47.A-49.A, 4 fig. — Étude expérimentale de la déformation élastique et non-élastique de la poutre au delà de l'apparition des premières fissures. Le dépassement de cette limite ne change pas essentiellement l'allure des courbes de déformation, elles subissent seulement une translation. E. 19052.

CDU 691.328.2 : 690.237.22 : 539.37.

155-57. Recherches sur le béton précontraint en Tchécoslovaquie (Badania betonu sprezonego w Czechosłowacji). KAJFASZ (S.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (sep. 1951), n° 9, p. 353-358, 30 fig. — Recherches sur les deux formes du béton précontraint : béton à barres tendues et béton à câbles tendus. Mode de fabrication des poutres. Aciers utilisés. Exemples succincts d'application dans des bâtiments. Différents types essayés par les laboratoires tchèques. E. 19054.

CDU 691.328.2 : 690.237.22.

156-57. Calcul des poutres précontraintes au moyen du noyau central (Obliczanie belek wstępnie sprężonych przy pomocy punktów rdzeniowych). BORUSIEWICZ (W.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (oct. 1951), n° 10, p. 387-391, 16 fig. — Généralités sur le mode classique de calcul des sections des poutres précontraintes. Section rectangulaire, en T, en I. Détermination des moments et des contraintes. Formules définitives. E. 19055.

CDU 691.328.2 : 690.237.22 : 518.5.

157-57. Observations sur les poutres en béton précontraint (Spostrzeżenia nad belkami z betonu strunowego). KAJFASZ (S.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (oct. 1951), n° 10, p. 392-396, 20 fig. — Résultats des premières recherches sur les poutres en béton précontraint faites à l'Institut de la Technique du Bâtiment. Essais à la flexion des poutres type DMS pour planchers. Déformations, résistance à la rupture. Mode de destruction du béton. Sections en I et II. Graphiques donnant les flèches en fonction des moments de flexion. Nombreuses photos des essais. E. 19055.

CDU 691.328.2 : 690.237.22 : 518.5.

158-57. Expériences sur le béton précontraint au cours de la construction du « Pont Espagnol » à Rotterdam (Enige ervaringen bij de toepassing van spanbeton voor het toegangsviaduct naar de Spaanse brug te Rotterdam). COEPEY (W. C.); *Ingenieur*, Pays-Bas (11 avr. 1952), n° 15, p. 19-25, 17 fig. (résumé anglais). — Pour la construction de ce pont, utilisation de 99 poutres en T, en béton précontraint, d'une longueur de 16,25 m. L'acier employé était un acier allemand de haute qualité. Essais de fluage de 100 à 900 heures. Rupture observée sur ces fils d'acier, due probablement à la corrosion interne. Application pour le calcul des contraintes dans les sections de différentes formes d'un diagramme simple sur la base de la section transversale totale. E. 20055.

CDU 624.27 : 693.57 : 518.5.

159-57. Béton précontraint (Strunozelbef). KOZAK (R.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (fév. 1952), n° 2, p. 51-57, 18 fig. — L'emploi des armatures précontraintes permet une économie d'acier importante. Description des essais faits à l'École d'Ingénieurs à Poznań. Essais sur poutres 5×5×280 cm, 15×32,5×284, 20×32,5×560. Description des armatures. Comparaison des poutres ordinaires et précontraintes. E. 19656.

CDU 691.328.2 : 691.71.

160-57. Problèmes particuliers concernant la théorie et l'emploi des armatures précontraintes (Niekłóre zagadnienia z dziedziny teorii i zastosowania wkładek sprężonych). WŁODARZ (A.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (fév. 1952), n° 2, p. 67-71, 5 fig. — Problème du travail de l'armature en liaison avec le béton et de la formation des fissures dans le béton. Économies réalisées. E. 19656.

CDU 691.328.2 : 539.37 : 518.5.

161-57. Sections à armature double précontraintes progressivement (Sprezenie stopniowane

przy zastosowaniu obustronnej armatury). KAUFMAN (S.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (fév. 1952), n° 2, p. 62-67, 5 fig., 4 réf. bibl. — Les valeurs maxima des tensions dans la phase initiale de la précontrainte subissent une réduction sensible lors de l'intervention de la charge utile constante. On propose de mettre à profit cet effet en utilisant une armature provisoire sous tension située vis-à-vis du câble principal. Deux variantes : 1° On prévoit une mise sous tension graduelle du câble principal; 2° On réalise sa mise sous tension définitive. Pratiquement la première méthode conduit à une réduction de la section de la poutre. E. 19656.

CDU 691.328.2 : 691.71.

Dec CHARPENTES. MENUISERIE. SERRURERIE

Dec j Travail du bois. Charpente. Menuiserie.

162-57. Caractéristiques des machines-outils à bois employées dans les entreprises de bâtiment et de travaux publics. RAZOUS (P.); *Monit. Trav. publ. Bâtim.*, Fr. (17 mai 1952), p. 87-89, 91, 93, 95-96, 16 fig. — Tableaux donnant les caractéristiques des machines-outils à bois de différentes marques en ce qui concerne : les scies mécaniques à ruban et circulaires, les machines de façonnage (dégauchisseuses, raboteuses, mortaiseuses, toupies, ponceuses), les machines de parqueterie (dresseuses et trieuses, boubleuses). E. 20472.

CDU 674.05 : 694.1.

163-57. Quelques exemples typiques de charpentes en bois. CAMPREDON (J.); *Tech. mod. Constr.*, Fr. (avr. 1952), t. 7, n° 4, p. 119-123, 6 fig. — Description de trois types de charpentes présentées à l'Exposition internationale de Lyon : charpente triangulée constituée de fermes-portiques; charpente clouée en portiques à section double T à âme pleine; charpente collée : portique à âme pleine en panneaux de bois contre-collés à la colle type urée-formol. Possibilités du bois. E. 20265.

CDU 694.1 : 690.248.

164-57. Stabilité des constructions appliquée aux bois. I. Statique graphique. VRAIN (G.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (avr.-mai 1952), n° 52-53 (Manuel de la charpente en bois, n° 13), p. 515-541, 58 fig. (résumé anglais). — Exemples d'application des méthodes de la statique, les propriétés des polygones funiculaires et leurs applications à la recherche des réactions d'appuis et des moments des divers ordres. Courbe funiculaire, équation différentielle des courbes funiculaires et calcul graphique des intégrales. E. 20563.

CDU 694.1 : 518.5.

165-57. Résistance à l'incendie des poutres et planchers en bois (Fire endurance of timber beams and floors). LAWSON (D. I.), WEBSTER (C. T.), ASHTON (L. A.); *Nation. Build. Stud.* (Depart. Sci. Industr. Res. Fire Off. Commit.), G.-B. (1951), Bull. n° 13, 7 p., 5 fig., 2 fig. h. t. — E. 20523.

CDU 699.81 : 614.84 : 694.1.

166-57. Hangar en charpente clouée. DESCOTES (P.); *Rev. Bois*, Fr. (avr. 1952), vol. 7, n° 4, p. 16, 2 fig. — Description d'un hangar en charpente clouée de l'Exposition du Bois de Lyon, ayant 31,3 m de longueur et 20 m de largeur. E. 20164.

CDU 725.39 : 694 : 621.886.

167-57. Bases théoriques du processus technologique du collage des constructions en bois (Teoretyczne podstawy procesu technologicznego klejenia konstrukcji drewnianych). ZIELINSKI (R.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (oct. 1951), n° 10, p. 384-387, 10 réf. bibl. — Considérations théoriques mettant en jeu : 1° Les facteurs physiques (tension superficielle, état de surface, propriétés physiques de la colle, l'épaisseur de la couche); 2° Les facteurs chimiques (phénomène de polarité, de polymérisation, adsorption des

gaz, diffusion des éléments volatils, pH de la colle). Théories de MacBain, Brown et Truax, Baucroft, Honkins et Livingstone. Directives pratiques pour la mise en œuvre. Séchage et chauffage H. F. par pertes diélectriques. E. 19055.

CDU 694.11 : 668.3 : 697.27.

Dec I Travail des métaux. Charpente. Soudure. Menuiserie.

168-57. Le soudage aux U. S. A. (Rapport préliminaire de la Mission technique française « Soudage », 10 octobre-21 novembre 1951). Éd. : Soudure Autogène, Paris, 1 broch., 76 p., 7 fig. — Voir analyse détaillée B-659 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20640.

CDU 621.791 (061.3) (02).

169-57. Mise au point de nouvelles baguettes de métal d'apport pour la soudure autogène de l'acier (Ueber die Entwicklung neuer Zusatzstäbe für die Autogenschiessung von Stahl). KEEL (C. G.); *Eidgenössische Materialprüfungs Versuchsanstalt Industr., Bauwesen Gewerbe*, Zurich, Suisse (fév. 1950), Rapport n° 175, 50 p., 103 fig., 13 réf. bibl. — Essais effectués en vue de l'étude et de la mise au point de métaux d'apport améliorés, en liaison avec les procédés de soudage orthodoxes. Étude des caractéristiques des déformations statiques et dynamiques des soudures effectuées avec ces nouveaux métaux d'apport. E. 20453.

CDU 621.791.3.

170-57. Symboles à adopter pour le soudage (Scheme of symbols for welding). *Brit. Stand. Instn.*, G.-B. (1952), B. S. 499 : 1952, Section 7, 47 p., nombr. fig.; A. F. N. O. R., 23, rue N.-D.-des-Victoires, Paris. — Définitions adoptées par l'Institution Britannique des Normes, des divers termes relatifs au soudage et à la coupe des métaux. Tableaux des symboles à adopter. E. 20372.

CDU 621.791 : 389.64.

171-57. Spécifications pour des constructions en alliage d'aluminium de résistance mécanique modérée, mais de haute résistance à la corrosion (Specifications for structures of a moderate strength aluminium alloy of high resistance to corrosion). *Proc. A. S. C. E.*, U. S. A. (mai 1952), vol. 78, Separ. n° 132, 33 p., 17 fig., 28 réf. bibl. — E. 20745.

CDU 693.97 : 691.77 : 620.19.

172-57. Hall en acier soudé pour l'Exposition du jubilé des Usines Philips à Eindhoven (Pays-Bas). *Ossature métall.*, Belg. (mai 1952), n° 5, p. 245-248, 10 fig. — Description de la charpente d'un hall constitué par des portiques en acier soudé à traverses courbes de 41 m de portée et 13,55 m de hauteur au faite. Détails des soudures et des assemblages. E. 20303.

CDU 725.35 : 693.97.

173-57. Les constructions soudées à étage multiple permettent des économies d'acier et d'argent (Welded multi-story structures save steel and money). MYERS (B. S.); *Civ. Engng.*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 22, n° 4, p. 43-45, 6 fig. — Les principes qui permettent de réaliser des économies dans la construction soudée sont les suivants : fabrication soignée des éléments de charpente, mise en place par des spécialistes munis d'un équipement adéquat, procédé de soudage bien étudié et mis au point, surveillance du chantier et essais sur le chantier par un personnel exercé, exécution du soudage par des soudeurs expérimentés. Comparaison des prix de revient d'une construction soudée et d'une construction rivée. E. 20308.

CDU 693.97 : 621.791 : 690.031.

Dec TRAVAUX D'ACHÈVEMENT

Ded ma Travaux de peinture.

174-57. Les « machines à peindre ». III. L'utilisation du pistolet. WALLON (J.); *Bâitr*, Fr. (fév. 1952), n° 20, p. 15-18, 14 fig. — Étude de

l'utilisation du pistolet à peinture. Difficultés, précautions de sécurité. Les défauts, leurs effets, leurs origines et leurs remèdes. Tenue de la peinture. Prix de revient. E. 20163.

CDU 698.1 : 331.823.

Dib PLOMBERIE SANITAIRE

175-57. Les installations sanitaires dans la zone intertropicale. ABDON (A.); *Tech. Archit.*, Fr. (1952), 2^e série, n° 5-6, p. 57-62, 7 fig. — Difficultés et dangers particuliers de la collecte, de l'enlèvement et de l'évacuation des matières excrémentielles dans les pays chauds. Tableau des caractéristiques des principaux systèmes de fosses fixes rencontrés dans les pays chauds. Règles pour l'aménagement des installations (matériaux et appareils sanitaires). E. 20366.

CDU 696.14 : 628.3 : 551.582.3.

Die CLIMATISATION

176-57. Chauffage central, ventilation et conditionnement d'air. Conditions acoustiques (Centrale verwarming, luchtverversing en klimaatregeling, Acoustische eisen). *Inst. Belge Normalis.*, Belg. (jan. 1952), NBN 263, 10 p. en français, 10 p. en flamand. — Norme définissant les conditions acoustiques auxquelles doivent satisfaire les installations de chauffage central de ventilation et de conditionnement d'air. Niveau de bruit maximum des machines. Mode d'exécution des fondations. Réalisation des accouplements et raccordements. Pose des tuyauteries. Réception et essais, procédés de contrôle. E. 20246.

CDU 697.243 : 699.844.

177-57. Écoulement périodique de la chaleur à travers les éléments composant les constructions. Transmission de la chaleur au travers de panneaux muraux homogènes, de l'ambiance extérieure vers l'air intérieur (Periodic heat flow through building components. Heat transfer through homogeneous wall panels from the outdoor climatic environment to the indoor air). ROUX (A. J. A.), VISSER (J.), MINNAAR (P. C.); *Nasionale Bounavorsingsinst.*, Afr. S. (sep. 1951), n° DR 9, 46 p., 38 fig., réf. bibl. — Les résultats obtenus au moyen d'une chambre d'essais ont montré que la théorie de l'écoulement périodique de la chaleur, sous la forme proposée par MACKERY et WRIGHT, peut être appliquée avec une précision satisfaisante dans certaines conditions. Constatations relevées au cours des essais. E. 18478.

CDU 536.2 : 697 : 620.1.

178-57. Comportement thermique des murs creux (Thermal performance of frame walls). HANDECORD (G. O.), HUTCHESON (N. B.); *Heat. Pip. Air Condition.*, U. S. A. (mars 1952), vol. 24, n° 3, p. 113-118, 13 fig., 2 réf. bibl. — Étude préliminaire des effets de la convection sur les murs à couche d'air avec et sans isolation. Résultats montrant la variation verticale des températures et des coefficients de transmission dans les murs creux. Cas de l'isolation idéale; dispositif présentant des ouvertures en haut et en bas des isolations. Appareillage d'essais utilisé et méthode d'essais. Description du mur en essai; résultats des essais. Circulation de l'air dans les murs présentant des couches d'air. Répartition des températures dans la couche d'air. E. 20052.

CDU 536.2 : 697.13 : 690.22.

179-57. Quelques cas particuliers de l'échange de chaleur (Einige Spezialfälle des Wärmeaustausches). WEBER (A. P.); *Schweiz. Bl. Heiz. Luft.*, Suisse (1952), n° 1, p. 5-13, 10 fig., 11 réf. bibl. — Transmission de la chaleur dans les faisceaux tubulaires et à l'occasion des changements d'état (condensation de vapeur saturée, ébullition) ainsi que dans les mélanges à ruissellement. E. 20406.

CDU 536.2 : 697.

180-57. L'arrosage en vue de réduire la transmission des radiations solaires des toitures en pays chauds. Bâtir, Fr. (fév. 1952), n° 20, p. 20-21, 4 fig. — Intérêt de l'arrosage des toitures comme moyen de limiter leur température superficielle. Résultats d'essais américains ayant permis de maintenir à 38° C la surface d'un toit qui normalement atteindrait 65° C. E. 20163.

CDU 697.13 : 690.241.

181-57. Isolation contre la chaleur. V (Heat insulation. V). BLAKELEY (J. D.); *Steam Engr.*, G.-B. (avr. 1952), vol. 21, n° 247, p. 269-272, 1 fig. — Les matériaux isolants se présentent, commercialement, sous forme de plaques ou de cylindres préfabriqués, souples ou plastiques, de produits pour application par pulvérisation, de matériaux en vrac pour remplissage, de béton isolant, de produits réfractaires ou semi-réfractaires. Ils sont généralement à base de carbonate de magnésium, de kieselsur, d'amiant, de laine ou de soie de verre, de laine minérale. On emploie également des matériaux expansés sous diverses formes et des produits comme le liège, certaines résines, le caoutchouc mousse, etc. Caractéristiques de ces différents produits. Pratique de leur utilisation pour l'isolation thermique. E. 20053.

182-57. Notes relatives aux calculs de la combustion (Notes on combustion calculations). KNIGHT (C. E.); *J. Instn. Heat. Ventil. Engrs.*, G.-B. (avr. 1952), vol. 20, n° 200, p. 9-17, 4 fig., 5 réf. bibl. — Méthode de calcul utilisée par les chimistes et dite de la molécule livre; celle-ci est un poids en livres numériquement égal au poids moléculaire d'une substance donnée. Cette méthode est plus rapide et plus précise que celle qui est communément utilisée par les ingénieurs. Exemples. E. 20050.

CDU 536 : 697 : 620.1.

Dic I Chauffage.

183-57. Chauffage central, ventilation et conditionnement d'air. Conditions communes à tous les systèmes (Centrale verwarming, luchtverversing en klimaatregeling. Gemeenschappelijke eisen voor alle systemen). *Inst. Belge Normalis.*, Belg. (1^{er} août 1951), NBN 237, 42 p. en français, 42 p. en flamand, 3 fig. — Projet de norme soumis à l'enquête publique qui énumère les conditions communes à tous les systèmes de chauffage central, de ventilation et de conditionnement d'air et relatives aux chaudières, échangeurs de chaleur, tuyauteries, robinetterie, corps de chauffe, calorifuge, peinture, appareillage électrique, travaux accessoires. — E. 20244.

CDU 697.243 : 697.325 : 697.9.

184-57. Protection cathodique contre la corrosion du matériel de chauffage et de plomberie (Cathodic protection against corrosion of heating and plumbing equipment). REYNOLDS (T. W.); *Heat. Ventil.*, U. S. A. (mars 1952), vol. 49, n° 3, p. 83-94, 24 fig., 3 réf. bibl. — Mécanisme de la corrosion des éléments utilisés pour le chauffage et les installations d'évacuation. Cas de deux métaux différents en contact, cas de deux surfaces en contact présentant des conditions différentes. Corrosion des canalisations et éléments enterrés. Application de la protection cathodique aux canalisations et réservoirs. Corrosion par électrolyse. Protection des canalisations par revêtements divers. Rôle des anodes galvaniques. Matériaux pour anodes. Protection cathodique des réservoirs de pétrole, des réservoirs d'eau. Économies possibles grâce à la protection cathodique. E. 20051.

CDU 697.243 : 696.1 : 620.19 : 699.8.

185-57. Les nouveaux éléments chauffants (Ueber neue Heizkörper). BÖHM (J.); *Gesundheitsingenieur*, All. (avr. 1952), n° 7-8, p. 113-115, 4 fig., 5 réf. bibl. — Application des surfaces nervurées ou à ailettes pour accélérer et augmenter la convection des appareils chauff-

fants, description d'appareils spéciaux tels que les « convecteurs » et les tuyaux à nervures. E. 20408.

CDU 697.243.

186-57. Cheminées à tirage naturel. XXXI (Natural draught chimneys. XXXI). FISCHER (L. J.); *Heat. Ventil. Engr.*, G.-B. (avr. 1952), vol. 25, n° 298, p. 442-452, 15 fig. — Calculs et tableaux. E. 20646.

CDU 697.243 : 697.8.

187-57. Notes pratiques sur l'emploi des brûleurs à gaz. I (Practical notes on gas burner service. Part I). WADSWORTH (P. K.); *Plumb. Heat. J.*, U. S. A. (mars 1952), vol. 123, n° 6, p. 77-79, 5 fig. — Méthodes de transport de la chaleur. Chaleur rayonnante; conduction; convection. Comment un four est chauffé par ces trois modes de transport de chaleur. Nécessité du réglage et principe du fonctionnement du régulateur de pression. E. 20101.

CDU 697.24 : 662.764 : 536.2.

188-57. Causes de salissement des surfaces de chauffe des chaudières, économiseurs et réchauffeurs d'air, et moyens d'y remédier. II (fin). COSTES (G.); *Chal. Industr.*, Fr. (avr. 1952), n° 321, p. 107-118, 9 fig., 10 réf. bibl. — Étude des dépôts formés dans les zones à haute température, cendres fondues provenant soit du combustible, soit des stériles. Composition chimique de cendres, température du foyer. Moyens de protection contre les dépôts. Étude particulière du faisceau vaporisateur, des surchauffeurs, des économiseurs, des réchauffeurs d'air. Nettoyage des surfaces de chauffe. E. 20413.

CDU 697.243 : 620.19 : 699.8.

189-57. Comment éviter la corrosion des tubes de chaudières (How you can avoid boiler tube corrosion). HINST (H. F.); *Heat. Pip. Air Condition.*, U. S. A. (mars 1952), vol. 24, n° 3, p. 77-83, 6 fig. — L'étude des causes de détériorations des tubes de chaudières a montré que la durée de service des tubes dépend tout d'abord des conditions de fonctionnement de la chaudière. On doit donc observer exactement les principes corrects d'exploitation et d'entretien pour prolonger la durée des tubes et réduire les frais d'entretien. Corrosion atmosphérique; corrosion des faces exposées aux flammes; corrosion par le soufre; attention à porter aux garnitures de joints; corrosion galvanique. E. 20052.

CDU 697.325 : 620.19 : 699.8.

190-57. Le réglage automatique des réchauffeurs d'eau. *Installation*, Suisse (avr. 1952), n° 2, p. 42-45, 6 fig. (tiré de: *Contrôle, Réglage*, Belg., déc.-jan. 1952). — Précisions désirées dans le réglage. Différentes catégories de vannes. Réglage par tout ou rien. Réglage modulant. Commande électrique, commande pneumatique. Réglages avec programme. Applications diverses. E. 20412.

CDU 697.6.

191-57. Méthode d'essai pour la détermination de l'émission calorifique des radiateurs (Beproevingmethode voor de bepaling van de warmteafgifte van radiatoren). *Inst. Belge Normalis.*, Belg. (1952), NBN 236, 23 p. en français, 23 p. en flamand, 15 fig. — Après des préliminaires sur les unités de symboles, la terminologie et les définitions, la norme expose le principe de la méthode de détermination de l'émission calorifique d'un radiateur dans une chambre d'essai, décrit l'installation, les appareils de mesure, les conditions d'essai, leur conduite, les calculs à effectuer et indique la précision de la méthode. E. 20311.

CDU 697.356 : 536.2 : 620.1.

192-57. Problèmes que j'ai rencontrés en Europe au sujet de ce que nous réalisons en Amérique avec le chauffage par rayonnement. II (Problems I met in Europe as to what we are doing in America with radiant heating). NAPIER ADLAM (T.); *Heat. Ventil. Engr.*, G.-B. (avr. 1952), vol. 25, n° 298, p. 457-461, 8 fig. — E. 20646.

CDU 697.353.

193-57. Évolution et marche des idées actuelles dans le chauffage par rayonnement (Neuzeitliche Entwicklungen und Gedankengänge der Strah-

lungsheizung). KOLLMAR (A.); *Gesundheitsingenieur*, All. (avr. 1952), n° 7-8, p. 105-113, 26 fig., 14 réf. bibl. — Caractéristiques, installation et application des plafonds chauffants, types « Frenger » et « Stramax », plaques chauffantes, radiateurs modernes à gaz ou électriques, tubes radiants en cuivre, etc. E. 20408.

CDU 697.353 : 690.254.

194-57. Conditions particulières aux installations de chauffage central à eau chaude, en liaison avec l'atmosphère (Bijzondere eisen voor centrale verwarmingsinstallaties met warm water, in verbanding met de lucht). *Inst. Belge Normalis.*, Belg. (16 août 1951), NBN 238, 6 p. en français, 6 p. en flamand, 1 fig. — Projet de norme soumis à l'enquête publique, qui donne les conditions particulières pour les installations de chauffage central à eau chaude en liaison avec l'atmosphère, en ce qui concerne les générateurs, les tuyauteries, la robinetterie, les pompes de circulation, les thermomètres. E. 20245.

CDU 697.4 : 697.243.

195-57. Le chauffage à la vapeur par le vide. III (fin) (Vacuum steam heating. III). ASHETON (C. F.); *Industr. Heat. Engr.*, G.-B. (avr. 1952), vol. 14, n° 78, p. 114-116, 5 fig. — Système de chauffage connu sous le nom de « Metro System », spécialement étudié pour les bâtiments de hauteur moyenne et qui permet de réduire les frais de main-d'œuvre et de matériel par la suppression de la plupart des petits accessoires tels que siphons et vannes. Exemple de l'installation de chauffage d'un bâtiment de seize étages (considéré comme hauteur moyenne aux États-Unis). E. 20151.

CDU 697.54 : 728.2.

196-57. Résultats du fonctionnement d'un système de chauffage au gaz et à l'air sous pression dans une habitation expérimentale (Performance of a gas-fired forced-air heating system in research residence n° 1). KONZO (S.), GREEN (G. H.), ROOSE (R. W.), CHILDS (M. E.); *Univ. Illinois Engng. Exper. Stn.*, U. S. A. (1951), Bull. sér. n° 397, 48 p., 20 fig., 7 réf. bibl. — Rapport sur des essais effectués de 1941 à 1943, en faisant varier le débit d'air et le débit de gaz et diverses autres caractéristiques, avec brûleur équipé pour fonctionner de façon continue. Conditions permettant la consommation minimum de combustible. Résumé anglais. E. 20410.

CDU 697.5 : 697.2 : 620.1.

197-57. Une pompe à chaleur entraînée par diesel (A diesel-driven heat pump). *Industr. Heat. Engr.*, G.-B. (avr. 1952), vol. 14, n° 78, p. 99-101, 2 fig. — Description de l'installation comprenant un compresseur, un condenseur, un évaporateur, relié par des tuyaux d'aller et de retour à un cylindre vertical qui règle son fonctionnement. Cette installation peut fournir 80 000 BTU (20 160 cal) par heure. Pour un fonctionnement de 10 heures la consommation de combustible est de 12,5 litres. Pour une même consommation une chaudière classique ne fournirait que 26 000 BTU (6 850 cal), soit environ le tiers. E. 20151.

CDU 697.3 : 621.577.

198-57. La chauffe dans l'industrie et pour les essais (Stoking in industry and for test purposes). *Steam Engr.*, G.-B. (avr. 1952), vol. 21, n° 247, p. 254-256. — Importance d'une bonne conduite du foyer de combustion permettant d'utiliser au maximum le combustible. Importance de la quantité d'air traversant la couche de combustible du foyer. Influence de la variation de la demande de vapeur. Méthodes pour l'évaluation du rendement d'une chaudière. Mesures à effectuer. E. 20053.

CDU 697.325 : 662.66.

199-57. Distribution d'eau chaude. Installation. Entretien. Installations commerciales, industrielles et dans les habitations. II (Hot water supply. Installation. Maintenance. Residential. Commercial. Industrial. II.) HUTTON (W.), DILLON (W. M.); *Plumb. Heat. J.*,

U. S. A. (mars 1952), vol. 123, n° 6, p. 69-71, 75, 118-119, 9 fig. — Types de réchauffeurs d'eau généralement disponibles. Choix du réchauffeur d'après son rendement. Chaudières en fonte pour chauffage par combustibles solides et par huile combustible; pour chauffage au gaz. Chaudières en acier. Conditions de l'efficacité des réchauffeurs. E. 20101.

CDU 697.6 : 697.325.

200-57. Expériences pratiques sur la corrosion des bacs à eau chaude. I (Practical experiences in corrosion of hot water tanks. I). FEATHERLY (R. L.); *Plumb. Heat. J.*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 123, n° 7, p. 74-76, 106, 4 fig., 4 réf. bibl. — E. 20405.

CDU 628.13 : 620.193 : 697.6.

Die m Réfrigération.

201-57. Simplification du choix d'un appareillage de réfrigération et de dessiccation. III (fin) (Simplifying the choice of cooling and dehumidifying equipment. III). RAMSEY (M. A.); *Heat. Pip. Air Condition.*, U. S. A. (mars 1952), vol. 24, n° 3, p. 95-97, 99, 2 fig. — Après avoir choisi un bon serpent, il ne s'agit plus que de calculer la température de refroidissement et de choisir le compresseur convenable. Calcul du nombre de spires à utiliser pour le serpent; considération des frais de premier établissement. Problème considéré sous deux aspects : quantité d'air à refroidir, six fois plus grande que dans le problème traité précédemment. Mesures à prendre pour rendre le réchauffage inutile. Vérification des données de l'étude par comparaison avec les conditions normales. E. 20052.

CDU 621.56 : 620.1.

202-57. Le froid artificiel dans le bâtiment. II. L'isolation. DAVAL (R.); *Bâtir*, Fr. (fév. 1952), n° 20, p. 25-28, 6 fig. — Étude de l'isolation des parois des enceintes à refroidir. Isolants classiques et récents. Conditions économiques d'utilisation des isolants. Mise en œuvre. Épaisseurs les plus pratiques. Vérification des qualités d'un isolant. Isolation antivibratoire. E. 20163.

CDU 621.5 : 697.13 : 699.84.

Die n Ventilation. Séchage.

203-57. Les nouvelles règles de construction d'entretien et d'emploi des conduits de fumée et de ventilation des constructions neuves. GAVELLE (R.); *Chant. Coop.*, Fr. (déc. 1951), n° 45, p. 20-22; (jan. 1952), n° 1, p. 20-21; (mars 1952), n° 3, p. 18-20, 1 fig.; (avr. 1952), n° 4, p. 28-29. — Texte partiel et commentaire de la nouvelle réglementation faisant l'objet de la circulaire n° 187 du 16 octobre 1950, modifiant le règlement sanitaire type. Tableau des prescriptions relatives à la constitution et aux dimensions des conduits. Emploi des conduits, entretien et réparations. E. 18577, 18974, 19773, 20243.

CDU 697.81 : 697.922 : 331.14.

204-57. Principes de la ventilation et du conditionnement de l'air modernes. I (Grundlagen moderner Lüftung und Luftkonditionierung. I). HAUSLER (W.); *Schweiz. Bauztg.*, Suisse (3 mai 1952), n° 18, p. 255-260, 18 fig. — Avantages et technique de la ventilation. Description des éléments des installations. Conditionnement d'air; procédés d'isolation des bruits et des vibrations, et de contrôle automatique. Choix des quantités d'air à faire circuler. E. 20271.

CDU 697.974.

205-57. Principes de la ventilation et du conditionnement de l'air modernes. II (fin) (Grundlagen moderner Lüftung und Luftkonditionierung. II). HAUSLER (W.); *Schweiz. Bauztg.*, Suisse (17 mai 1952), n° 20, p. 293-298, 27 fig. — E. 20582.

CDU 697.974.

206-57. Panneaux réfrigérants et air conditionné utilisés dans une nouvelle usine de laine de verre (Cooling panels, conditioned air used at new glass yarn plant). *Heat. Pip. Air*

Condition., U. S. A. (avr. 1952), vol. 24, n° 4, p. 102-103, 2 fig. — La fabrication des fibres de verre à l'usine de la Owens-Corning Fiberglas Corp. nécessite le chauffage des filières à 1 100°. Un conditionnement d'air, avec réfrigération par panneaux, permet aux ouvriers de séjourner dans ces ateliers. E. 20349.

CDU 621.5 : 697.9 : 725.4.

207-57. Installation de conditionnement d'air avec conduits sous pression moyenne (An air conditioning plant with medium pressure ducts). RYBKA (K. R.); *Engng. J. Canad.*, Canada (mars 1952), vol. 35, n° 3, p. 207-211, 6 fig. — Cette installation, en service à Toronto, a été spécialement adaptée aux conditions climatiques du Canada. Elle utilise de fortes différences de températures entre l'intérieur des pièces et l'alimentation d'air; l'air y est distribué à grandes vitesses, mais la pression reste très inférieure à celle des premières installations de ce genre. L'expérience a montré qu'il était possible d'établir une installation à pression moyenne assurant économiquement le conditionnement d'air d'un important bâtiment tel que celui d'une banque. E. 20069.

CDU 697.974 : 621.6.

208-57. La ventilation dans les usines. Le dépoussiérage. *Equip. tech.*, Fr. (avr. 1952), n° 52, p. 3, 5, 7, 9, 6 fig. — Importance du problème. Production de la poussière. Poussières atmosphériques. Poussières industrielles. Nocivité de la poussière, ses actions directes sur l'organisme, ses actions indirectes sur la fabrication et la psychologie de l'ouvrier. Le dépoussiérage, différents aspects du problème, captation, séparation. E. 20648.

CDU 725.4 : 699.872.

209-57. Les échangeurs de chaleur dans la ventilation des étables (Heat exchangers in animal shelter ventilation). *Heat. Ventil.*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 49, n° 4, p. 92-94, 6 fig., 2 réf. bibl. — Procédé d'échange de chaleur entre l'air chaud sortant et l'air frais introduit : il permet de réaliser des économies de chaleur. Essais sur une installation expérimentale du Collège d'État de l'Iowa. E. 20407.

CDU 697.9 : 63.

210-57. L'atmosphère industrielle (The industrial atmosphere). TASKER (C.); *Heat. Ventil. Engr.*, G.-B. (mai 1952), vol. 25, n° 299, p. 507-513, 4 fig. — Sujétions imposées au plan et à la construction des usines pour satisfaire aux nécessités de l'hygiène de l'atmosphère. Sources, effets nocifs et contrôle de la pollution de l'atmosphère. E. 20647.

CDU 725.4 : 697.9.

211-57. La mesure des émissions de fumées (The measurement of smoke). SHAW (W. F. B.), HURLEY (T. F.), FOX (L. L.); *Heat. Ventil. Engr.*, G.-B. (mai 1952), vol. 25, n° 299, p. 494-502, 506, 5 fig., 6 réf. bibl. — Difficultés dans le cas des charbons bitumineux. Fumées industrielles. Essais sur une chaudière Lancashire, une chaudière marine et autres. Fumées domestiques. E. 20647.

CDU 725.4 : 697.8 : 620.1.

212-57. Amortisseurs dans un système de conduits d'air. I (Dampers in a ducting system). POLLAK (H.); *Heat. Ventil. Engr.*, G.-B. (avr. 1952), vol. 25, n° 298, p. 466-471, 12 fig. — E. 20646.

CDU 621.6 : 697.9.

Did ÉCLAIRAGE

213-57. Étude de plafonds de grande surface en produits plastiques acryliques (A study of large area acrylic plastic ceilings). LINFORTH (E. M.); *Illum. Engng.*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 47, n° 4, p. 175-178, 6 fig. — Éclairage du plafond d'une salle de dessin de 33 × 8-m par des diffuseurs en matière acrylique. Données du problème, comparaisons de prix et méthodes pour supprimer l'éblouissement. E. 20314.

CDU 392.3 : 696.93 : 690.254.

214-57. Degrés d'éclairement dans la pratique de l'éclairage (BCD brightness ratings in lighting practice). GUTH (S. K.); *Illum. Engng.*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 47, n° 4, p. 184-194, 7 fig., 10 réf. bibl. — Une méthode subjective d'évaluation des éclaircissements peut fournir des moyens précieux pour déterminer le confort visuel. Les résultats donnés par cette méthode concordent avec les valeurs résultant d'une formule empirique établie au laboratoire. Discussion. E. 20314. CDU 392.3 : 696.93.

215-57. L'évaluation des données relatives au confort visuel (The evaluation of visual comfort data). LOGAN (H. L.), LANGE (A. W.); *Illum. Engng.*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 47, n° 4, p. 195-205, 12 fig., 13 réf. bibl. — E. 20314. CDU 392.3 : 696.93.

Did m Installations électriques.

216-57. Lexique de l'électrotechnique (Lexikon der Elektrotechnik). OBERDORFER (G.); Éd.: Springer, Vienne, Autr. (1951), 1 vol., VII + 488 p., 371 fig. — Voir analyse détaillée B-677 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20194. CDU 696.6 (02).

Dif PROTECTION CONTRE LES DÉSORDRES ET ACCIDENTS

Dif j Protection contre le bruit et les vibrations.

217-57. Colloque international d'acoustique architecturale (Marseille 11-17 avril 1950). Éditions de la Revue d'Optique, Paris (1952), 1 vol., 165 p., 183 fig., nombr. réf. — Voir analyse détaillée B-654 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20719. — CDU 534 : 699.844 (02).

218-57. L'isolation phonique (Schallschutz). BRANDT (H.), CREMER (L.), GÖZELE (K.), KRISTEN (Th.); *Fortschritte-Forschungen Bauwesen*, All. Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, All. (1952), 1 vol., Série D, n° 2, 136 p., 105 fig., 4 pl. h. t., 52 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-669 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20384. CDU 699.844 (02).

219-57. Isolement sonore dans le bâtiment. PILON (J. M.); *Cah. C. S. T. B.*, Fr. (1952), n° 14 (Cah. 135), 15 p., 35 fig. (résumé anglais). — Indices d'isolement moyen de la plupart des matériaux et éléments de construction; les conclusions de considérations théoriques sur la notion d'indice résultant montrent dans quelle mesure la présence d'une porte dans une cloison, d'une fenêtre dans un mur, peut affecter l'isolement global. Si, dans certains cas, il faut songer à alourdir ou doubler ces éléments mobiles, souvent il suffira d'en rechercher une bonne fermeture. E. 20560. CDU 699.844 : 728.

220-57. Isolation acoustique des plafonds utilisés dans le bâtiment en Pologne (Izolacja akustyczna stropow stosowanych w budownictwie polskim). MAŁECKI (I.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (fév. 1952), n° 2, p. 43-51, 18 fig. — Méthodes de mesure de l'isolation contre les bruits aériens et les bruits dus aux chocs. Définitions. Calcul de l'isolation propre. Technique des mesures (frapper standard et récepteur électronique). Résultats pour les plafonds bruts, et avec isolation. Isolation des planchers. Les meilleurs du point de vue isolement sont les plafonds du type Ackerman et ZP 1; le type DMS doit être toujours partiellement rempli avec un matériau isolant (plaques isolantes ou poudre de tourbe sous plaque métallique). La laine de verre ou de mâchefer est peu efficace. E. 19656. CDU 690.254 : 690.25 : 699.844.

221-57. Isolation contre les vibrations et les chocs (Vibration and shock isolation). CREDE (Ch. E.); Éd.: John Wiley and Sons, Inc., New-York, U. S. A. (1951), 1 vol., XVII + 328 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-661 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20499. CDU 699.84 : 691 (02).

Dif mu Protection contre le froid.

222-57. Étude de dispositifs de fusion de la neige (Design of snow melting systems). CHAPMAN (W. P.); *Heat. Ventil.*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 49, n° 4, p. 96-102, 11 fig., 11 réf. bibl. — Importance des pertes d'énergie dans le calcul d'une installation de fusion de la neige, contrairement à l'opinion généralement admise que ces pertes (par vaporisation et par convection) sont négligeables. E. 20407. CDU 699.8 : 697.243.

Dig 1 CANALISATIONS

223-57. Le pipe-line de Warragamba (Australie). *Ossature Metall.*, Belg. (avr. 1952), n° 4, p. 195-199, 7 fig. — Description d'un pipeline de 27 km en tôle d'acier soudée, revêtue intérieurement de ciment. Diamètre intérieur 2,8 m. Tronçons de 18 t ayant 13,7 m de longueur assemblés par soudure pour former les conduites continues de 171 m de longueur reliées par des joints de dilatation. E. 20162. CDU 621.6 : 662.75 : 691.71.

224-57. Recherches sur les caractéristiques des pressions et sur la distribution de l'air dans les chambres de répartition des systèmes de canalisations de conditionnement d'air (Investigation of the pressure characteristics and air distribution in box-type plenums for air conditioning duct systems). GILMAN (S. F.), MARTIN (R. J.), KONZO (S.); *Univ. Illinois Bull.*, U. S. A. (juil. 1951), vol. 48, n° 79 (Engng Exper. Stn. Bull. ser. n° 393), 77 p., 37 fig. — Rapport sur des essais de laboratoire effectués sur deux systèmes différents et au cours desquels on a relevé les pertes de charge et déterminé les meilleurs tracés des entrées et des sorties d'air pour réduire ces pertes au minimum. Possibilité d'appliquer, dans la pratique, les résultats obtenus à des systèmes de transmission d'air qui ont des conduits de branchement de dimensions différentes et de longueurs équivalentes. E. 20411. CDU 621.6 : 697.9 : 533.6 : 620.1.

225-57. Dérivation de la rivière Creek par trois conduites souterraines semi-cylindriques en métal (Three-barrel metal culvert divers Creek). KREMER (J.); *Constr. Methods*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 34, n° 4, p. 73-74, 3 fig. — Les conduites en métal ondulé ont un diamètre de 5,5 m. E. 20311. CDU 628.15 : 627.1 : 690.354.

226-57. Tuyaux en ciment armé de grand diamètre pour conduites d'eau (Tubi in cemento armato di grande diametro per condotte d'acqua). TURAZZA (G.); *G. Genio civ.*, Ital. (mars-avr. 1952), n° 3-4, p. 192-195, 3 fig., 3 réf. bibl. — E. 20527. CDU 628.15 : 693.55.

227-57. Étude des systèmes de conduits de distribution. IV (The design of ductwork distribution systems. IV). EVANS (A. W.); *Industr. Heat. Engr.*, G.-B. (avr. 1952), vol. 14, n° 78, p. 106-110, 4 fig. — Systèmes de distribution d'air. Importance de la détermination des dimensions des conduits et exposé de deux méthodes utilisées pour le calcul de ces installations : la méthode de frottement égal dans laquelle on considère que la résistance à l'écoulement est constante tout le long de la conduite et la méthode de pression constante. Diagrammes facilitant les calculs. E. 20151. CDU 621.6 : 697.9 : 518.5.

228-57. Une conduite d'eau avec joints au soufre subit sa 69^e rupture (Water main with sulfur joints suffers its 69th baffling break). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (13 mars 1952), vol. 148, n° 11, p. 62, 2 fig. — Cette conduite en fonte de 0,4 m de diamètre et 3 200 m de long a été posée il y a une dizaine d'années. On a supposé, pour expliquer les nombreuses ruptures déplorées, que les joints au soufre subissent une transformation chimique produisant une dilatation de volume en raison de la présence d'eau de mer dans le sol. Des essais ont été entrepris pour vérifier cette hypothèse. E. 20135. CDU 628.15 : 691.7 : 620.193.

229-57. Pose sans tranchée de canalisations souterraines. VACHER (G.); *Bâtim.*, Fr. (fév. 1952), n° 20, p. 4-7, 5 fig. — Description des procédés permettant la pose de canalisations souterraines sans ouverture de tranchées. Procédé de forage par pression : foreuse Luce-Bonnet, pipe-pusher américain et pousse-tube hydraulique français Virax. Procédé de forage par rotation : foreuse rotative hélicoïdale Ka-Mo. Commentaire des procédés. E. 20163. CDU 621.6 : 624.13 : 624.19.

230-57. Les effets de flexion dans les conduites forcées en béton armé. PRUDON (G.); *Tech. Trav.*, Fr. (mai-juin 1952), n° 5-6, p. 187-191, 2 fig. — Calcul d'une conduite à faible chute, de grand diamètre, posée sur bergeau. Effet des flexions dues à 1^o la différence des pressions à la clé et à la base; 2^o Au poids propre de la conduite; 3^o Au remblai. Établissement des formules et application à une conduite de 6 m de diamètre. E. 20517. CDU 628.15 : 693.55 : 518.5.

Dig m RÉSERVOIRS. SILOS

231-57. Détermination des dimensions et des pressions des réservoirs de stockage (Determining sizes and pressures in storage tanks). *Plumb. Heat. J.*, U. S. A. (mars 1952), vol. 123, n° 6, p. 97-98, 100, 102-103, 6 fig. — Nécessité de connaître la consommation d'eau. Quantités nécessaires pour les fermes et les maisons de campagne. Dimensions normalisées des réservoirs sous pression. Mise en place de l'appareillage de stockage. Débits des réservoirs sous pression. Quantités nécessaires d'air comprimé. Exemples numériques. E. 20101. CDU 628.13 : 532 : 518.5.

232-57. Discussion du mémoire « Étude d'un grand silo à charbon » paru en juin 1951 (Discussion of design of large coal bunkers). BLANCHARD (G. L.), TURITZIN (A. M.), ROGERS (P.); *Proc. A. S. C. E. (Struct. Div.)*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 78, Sépar. n° D-72, 5 p., 5 fig. — Discussion sur l'inexactitude de l'expression exponentielle pour calculer les pressions et sur la théorie du silo profond. E. 20399. CDU 725.36 : 662.66 : 518.5.

233-57. Silo de 90 000 t en béton armé pour sulfate d'ammonium à Sindri, Inde (90,000-ton reinforced-concrete silo for ammonium sulphate; Sindri, India). *Engineering*, G.-B. (11 avr. 1952), vol. 173, n° 4498, p. 449-450, 464, 9 fig. — Le silo, d'une longueur totale de 201,3 m, est composé de vingt-deux sections en arc, indépendantes. Chacune de ces sections est longue de 9,15 m, a une portée de 43,6 m et une hauteur de 24,7 m. Les arcs sont constitués par des voûtes en béton armé d'une épaisseur de 0,15 m, renforcés à 0,6 m aux naissances et à la partie supérieure; chaque arc comporte, en outre, quatre nervures fortement armées, espacées de 2,3 m d'axe en axe. Détails de construction. E. 20048. CDU 725.36 : 693.55.

Do ENTREPRISES ORGANISATION. MAIN-D'ŒUVRE

234-57. Les méthodes nouvelles de construction et la préfabrication. Un. synd. nation. *Préfabricat. Bâtim.*; *Ass. Nation. Préfabricat.*

Bâtim., Fr. (nov.-déc. 1951, janv.-fév.-mars 1952), Bull. Inform. n° 37, p. 1-10. — Examen des résultats du progrès technique sur l'abaissement du prix de revient. Étude du progrès technique dans la construction et des possibilités actuelles des méthodes nouvelles de construction. Mesures à prendre pour favoriser l'industrialisation du bâtiment. E. 20473. CDU 690.022 : 693.057.1.

235-57. **Système de construction rapide employé à Muranow** (System potokowy na Muranowie). FURMANEK (S.); *Przegl. Budowl.*, Pol. (juin 1951), n° 6, p. 260-266, 2 fig. — Technique de construction rapide. Problème : construire des maisons identiques, du type simple (cité ouvrière) en un nombre donné de journées de travail. Organisation d'une telle entreprise : calcul du temps de travail, simplification et normalisation; synchronisation des travaux. Avant-projet (matériaux, main-d'œuvre, harmonogrammes) et réalisation (harmonogrammes de détail, organisation du personnel et du chantier). E. 16979.

CDU 728.3 : 711.417 : 690.022.

236-57. **La mesure du travail en France**. FRANK (P.); Éd.: Assoc. interprofession. Etude Simplification du Travail. (Bureau Temps élémentaires), Paris, 1 vol., 54 p. + 228 p. d'annexes. — Voir analyse détaillée B-656 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20181.

CDU 331 : 658.542.1 (02).

Dod MATÉRIEL ET OUTILLAGE

237-57. **Orientation et tendances actuelles de l'évolution du matériel d'entreprise. La mise en œuvre des matériaux**. *Bâtiment*, Fr. (17 mai 1952), numéro spécial « Foire de Paris », p. 12-14. — Étude du matériel mis à la disposition des entreprises : 1° Pour l'exécution des fouilles; 2° Pour la préparation des matériaux : tronçonneuses à pierre de taillé, machines pour moulage du béton, bétonnières, coffrages normalisés, coffrages grille, échafaudages métalliques, grues, vibrateurs, outils portatifs divers. E. 20490. CDU 621.7/9 : 690.576.

238-57. **Les tracteurs à pneumatiques. III**. MOREL (H.); *Tech. mod. Constr.*, Fr. (avr. 1952), t. 7, n° 4, p. 99-108, 17 fig. — Équipement pneumatique par pneus géants à basse pression. Avantages des pneus à basse pression. Formes et choix des pneus. Utilisation : charges supportées, gonflage, montage, réparations. Tableau des caractéristiques des tracteurs à pneumatiques classés par puissances jusqu'à 30 ch. E. 20265. CDU 629.1 : 621.43.

239-57. **L'air comprimé à l'usine et sur le chantier**. LEFÈVRE (J.); *Usine nouv.*, Fr. (mars-avr.-mai 1952), numéro spécial, p. 135-137, 139, 141, 143, 14 fig. 2 réf. bibl. — Caractéristiques d'un compresseur et d'une installation; choix du compresseur suivant son installation en fonction de la pression d'utilisation

et du mode de refroidissement. Examen des conditions de commande par moteur et d'installations des compresseurs fixes et mobiles. E. 20571. CDU 621.51.

240-57. **Dans les industries d'équipement M. T. P. S. Le matériel français de travaux publics et d'équipement des ports**. FÉRAUD (F.); *Journ. Bâtim.*, Fr. (29 avr. 1952), n° 1440, p. 1, 3. (Extraits d'une conférence donnée au Ministère de l'Information, 8 avril 1952). — (Manutention, levage, travaux publics, sidérurgie, mines, fonderie.) Énumération des matériels rattachés à ces activités. Matériel des grands chantiers de travaux publics. Matériel de préparation des agrégats et matériel de bétonnage. Matériel de levage et de manutention dans les installations portuaires. E. 20251.

CDU 621.7/8 : 627.3.

241-57. **Le moyen et le petit matériel de chantier**. *Monit. Trav. publ. Bâtim.*, Fr. (17 mai 1952) p. 65, 67, 69, 71-73, 21 fig. — Étude du moyen et petit matériel de chantier réalisé en France et à l'étranger. Petits engins de terrassement. Engins de transport de matériaux horizontalement et verticalement. Echafaudages métalliques. Camions-bétonnières. Vibrateurs. Machines à préparer les aciers. Outillages divers. E. 20472. CDU 621.7/8 : 690.5.

242-57. **Les chantiers de travaux publics et leurs gros engins**. BOUF (G.); *Usine nouv.*, Fr. (mars-avr.-mai 1952), numéro spécial, p. 151-152, 1 réf. bibl. — Historique du machinisme dans les travaux publics. Rôle des entrepreneurs, des mécaniciens, des ingénieurs de l'État. Évolution des entreprises et de leur matériel au XIX^e siècle. Étude du matériel moderne de terrassement des engins de levage, du matériel de fabrication du béton, etc. E. 20571.

CDU 621.7/8.

243-57. **Dragues, draglines et blondins du chantier de Donzère-Mondragon**. REINHOLD (J.); *Rev. Alumin.*, Fr. (avr. 1952), n° 187, p. 137-149, 19 fig. — Description des ouvrages des terrassements, puis des appareils. E. 20467. CDU 621.879 : 624.13 : 627.8.

244-57. **Le choix des engins de terrassement en fonction du programme**. PAGNI (R.); *Monit. Trav. publ. Bâtim.*, Fr. (17 mai 1952), p. 23-25, 27, 29, 31-33, 35, 37, 32 fig. — En vue du calcul du cycle d'un engin de terrassement on étudie d'abord les caractéristiques du matériau (poids spécifique, foisonnement), les caractéristiques des engins (influence de la température et de l'altitude sur la puissance, résistance au roulement), la détermination des temps fixes (chargement, déchargement, accélération et embrayage). On applique les conditions précédemment étudiées au calcul d'un cycle et on traite en exemples les cycles d'un tracteur et d'un scraper, d'un motor-scraper, de semi-remorques chargées par pelle en butte. E. 20472. CDU 621.879 : 624.13.

245-57. **Des perforatrices à godet luttent avec succès contre le mauvais temps sur un chantier pour la fondation d'un grand bâtiment** (Bucket-

type drills beat the weather on big building foundation). REBER (G.), DAY (R.); *Constr. Methods*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 34, n° 4, p. 61-63, 5 fig. — En perforant soixante-douze trous par machine et par poste, on est parvenu à effectuer 98 % des travaux avant la mauvaise saison. E. 20311. CDU 621.879 : 624.13.

246-57. **Comment conduire les grues, les draglines et les bennes preneuses** (How to operate cranes, draglines and clamshells). MARTINSON (E. O.); *Constr. Methods*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 34, n° 4, p. 93-94, 96-97, 99-100, 103, 6 fig. — Façon de régler la flèche des engins pour les différents travaux à effectuer et suivant la charge. Emploi des draglines et façon correcte de les utiliser. Travail à deux bennes. Fonctionnement et réglage des bennes preneuses. Importance du graissage. Réglages mécaniques de ces différents engins. E. 20311. CDU 621.879 : 624.13 : 621.874.

247-57. **Transporteur aérien à câble et son utilisation dans le génie civil** (Dzwięg linowy i jego zastosowanie w budownictwie inżynieryjnym). KALICINSKI (J.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (nov. 1951), n° 11, p. 427-434, 18 fig., 9 réf. bibl. — Données générales. Domaines d'utilisation. Construction du transporteur (pylônes, ancrage du câble, wagonnet). Calcul du câble porteur, de la puissance des moteurs et du rendement du transporteur. Exemples d'utilisation. E. 19056. CDU 621.874 : 691.71.

Dof SÉCURITÉ DE CHANTIER

248-57. **Mesures particulières de protection et de salubrité applicables aux chantiers de travaux dans l'air comprimé. Exposé des résultats d'études**. ANN. I. T. B. T. P., Fr. (avr.-mai 1952), n° 52-53 (Questions générales, XVII), p. 426-448, 16 fig. (résumé anglais). — RAYMOND (V.) : Étude biologique des phénomènes physiologiques survenant pendant la décompression par dégagement brutal avec effervescence de l'azote dissous dans le sang et les tissus, étude qui a conduit aux règles de Haldane. Le meilleur traitement des coups de pression est une recompression dépassant de 1 kg la pression de soulagement et suivie d'une décompression très lente. C. R. FROMENT : Étude de la détermination de la durée maximum admissible pour une séance journalière continue de travail sous une pression constante déterminée. En annexe : un tableau du pourcentage de saturation à 1 mn d'intervalle des tissus qui sont saturés à moitié respectivement en 75, 40, 20, 10 ou 5 mn; la loi de variation de la tension d'absorption dans l'hypothèse d'un abaissement à vitesse constante de la pression ambiante, une note de calcul relative à la détermination de la durée de décompression dans le cas d'un poste de travail de 8 heures sous une pression effective de 2 kg/cm². E. 20563. CDU 614.8 : 331.823 : 621.51.

F. — LES OUVRAGES

Fac ÉLÉMENTS PORTEURS

Fac j Ossatures. Piliers. Colonnes.

249-57. **Mât de signalisation en béton armé de 30 m de hauteur, au port de Zeebrugge**. VAN RYSELBERGHE (L.), DESCANS (L.), CLOQUET (J.); *Ann. Trav. publ. Belg.*, Belg. vol. 2, n° 2, p. 207-216, 2 fig., 1 pl. h. t. (résumé flamand). — Construction d'un mât constitué de quatre potelets dressés aux angles d'un carré de 2 m de côté; chaque potelet est

de section octogonale. Le mât a été préfabriqué à terre par tronçons. Considérations sur les pressions du vent adoptées en tenant compte des effets des bourrasques et de la résonance de l'ouvrage. E. 20565.

CDU 690.237.52 : 693.55 : 627.3.

250-57. **Le système Multex, nouveau procédé de construction** (Multex, a new system of construction). J. R. I. B. A., G.-B. (avr. 1952), vol. 59, n° 6, p. 214-215, 17 fig. — Ce nouveau système consiste à utiliser des éléments spéciaux de différentes formes et conçus de telle manière que ces éléments puissent se juxtaposer

en se recouvrant partiellement pour former les murs et les cloisons d'une maison. L'élément type a la forme d'un U avec prolongement horizontal de la base de l'U à gauche et prolongement horizontal de l'aile de droite, formant ainsi une sorte de « grecque » qui permet de nombreuses combinaisons d'assemblage. Exemples d'utilisation. E. 20147. CDU 728 : 690.022.

251-57. **Le traitement des murs humides** (The treatment of damp walls). *Build. Res. Str. Digest*, G.-B. (avr. 1952), n° 41, 5 p. — Parmi les traitements externes, on peut citer le recou-

vrement des murs par des tuiles ou des ardoises, les revêtements en ciment, chaux et sable, les peintures au ciment, les enduits au bitume et au goudron. Comme protections internes, on a recours à l'application de panneaux imperméabilisés écartés des murs d'enduits au ciment et au sable, de revêtements imperméabilisants. Protection contre l'humidité du sol, contre la condensation. E. 20153.

CDU 690.22 : 697.138 : 699.82.

252-57. Histoire d'une invention (Z Historii jednego pomysłu). *Przegl. Budowl.*, Pol. (nov. 1951), n° 11, p. 511-512, 7 fig. — Description d'un appareil-calibre permettant l'exécution d'un mur en briques par des ouvriers non qualifiés. Ce dispositif assure l'épaisseur constante du mur et sa verticalité, permet une mise en place facile du mortier et des briques. Quelques autres dispositifs décrits à l'étranger. E. 18175. CDU 693.1 : 691.42 : 690.022.

253-57. Bases de détermination de l'épaisseur d'un mur en brique du point de vue thermique (Zasady wyznaczania grubości murów z cegły z cieplnego punktu widzenia). *WITULSKY (W.)*, *Inzyn. Budown.*, Pol. (juil.-août 1951), n° 7-8, p. 304-308, 7 fig. — Adaptation de l'épaisseur des murs aux conditions climatiques existant en Pologne. Écart de température extérieure et température intérieure pouvant servir de base dans les calculs. Généralités sur la détermination des variations de la température sur la face interne des murs. Prise en considération des variations de la température extérieure. Influence de l'humidité de l'air intérieur. E. 19052. CDU 690.22 : 691.421 : 699.86.

254-57. Étude technique des conduits de fumée. *L. DELL'ORO (J.)*; *Chaud-Froid*, Fr. (mai 1952), n° 65, p. 45, 47, 49, 2 fig. — Rôle et propriétés nécessaires des conduits de fumée. Influence de la destination de l'appareil et de la nature du combustible. E. 20558. CDU 697.243 : 697.81.

255-57. Immeubles en éléments préfabriqués à ossature en cadres (Budynki z prefabrykowanych elementów płytowo szkieletowych). *Przegl. Budowl.*, Pol. (fév. 1952), n° 2, p. 53-62, 25 fig. — Description détaillée du mode le plus moderne de construction des maisons. L'ossature est réalisée par des cadres préfabriqués en béton armé, assemblés et bétonnés sur place; les murs par des panneaux préfabriqués qui s'assemblent sur ces cadres. Différents types de panneaux : pleins à ouvertures, chauffants, etc. Planchers. Bloc sanitaire. Mode d'assemblage sur le chantier. Comparaison du coût propre et de la main-d'œuvre. E. 19793. CDU 693.95 : 693.057.1.

Fac 1 Poutres. Dalles. Planchers.

256-57. Emploi de la détermination optique des contraintes sur les poutres-cloisons (Anwendung der Spannungsoptik auf Flächentragwerke). *HIRSCHFELD (K.)*; *Beton-Stahlbetonbau*, All. (avr. 1952), n° 4, p. 73-76, 23 fig. — Application du procédé optique sur un modèle de semelles de fondation. Lignes isochromes et lignes isoclines; interprétation des lignes observées. Méthodes spéciales d'interprétation applicables aux poutres-cloisons. Emploi de l'optique pour l'étude des consoles : interprétation des résultats des essais sur modèles. E. 19963. CDU 690.237.22 : 690.225 : 620.1.

257-57. Portiques rigides soudés de 68 m de portée pour stade couvert sur terrain largement dégagé (Welded rigid frames span 224 ft for coliseum with large unobstructed arena). *COBLENTZ (R. E.)*; *Engng News-Rec.*, U. S. A. (12 juil. 1951), vol. 147, n° 2, p. 28-32, 7 fig. — Description de portiques de 68 m de portée espacés de 8,2 m, ayant une hauteur de 16,7 m aux retombées et de 26,8 m au sommet et supportant une toiture légère (224 kg/m² de poids mort et surcharge). Portiques construits

entièrement à l'aide de tôle. Assemblages soudés tant en usine que sur chantier. Procédé de montage comportant des pylônes roulants pour transport des éléments et des mâts à palans pour le levage. Mode d'exécution du soudage sur chantier. Dépenses d'exécution. E. 20425. Trad. I. T. 329, 10 p. CDU 693.9 : 725.826.4.

258-57. La méthode de construction Youtz-Slick avec mise en place de dalles au moyen de vérins (The Youtz-Slick lift slab method of construction). *GRINDROD (J.)*; *Builder*, G.-B. (2 mai 1952), n° 5698, p. 665-666, 2 fig. — La méthode consiste à construire la dalle formant plancher d'un étage sur celle de l'étage inférieur et à l'élever jusqu'à sa position définitive au moyen de vérins placés sur des poteaux convenablement répartis. Description des piliers. Levage de la dalle. Application. Économies réalisées grâce à ce procédé. E. 20310. CDU 690.25 : 690.022.

259-57. Opération Skyhook. Dalles de plancher à Kansas City, élevées et mises en place par vérins et étriers (Operation Skyhook. Kansas City building slabs lifted by bootstraps). *BROWN (T.)*; *Constr. Methods*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 34, n° 4, p. 50-54, 9 fig. — Ce système de construction consiste à placer des piliers creux sur l'emplacement du bâtiment, à couler les dalles de plancher sur le sol, puis, à élever ces dalles au niveau désiré à l'aide de vérins et d'étriers. Lorsque les dalles sont en place, on soude leur armature aux piliers métalliques. Détails de construction. E. 20311. CDU 690.25 : 690.022.

260-57. Constructions de planchers et maisons (Daek og huse). *PLUM (N. M.)*; *Stat. Byggeforskningsinst.*, Danm. (1952), Rapport n° 7, 1^{er} vol. : VIII + 170 p., 40 fig., 52 réf. bibl. (résumé anglais); 2^e vol. : 46 p. de 56 fig. — Des recherches ont été effectuées sur neuf différents types de planchers et trois types de maisons pour quatre valeurs de surcharge : 200, 300, 400 et 500 kg/m². Les conditions de construction économique dépendent des dimensions de la surcharge, de la hauteur des maisons et de l'orientation des poutres, de l'épaisseur des planchers et de leur poids. Influence du prix de la main-d'œuvre. Hypothèses des calculs et exemples. Calcul des services, avantages économiques d'acier spécial pour les armatures. Documentation. Isolation acoustique contre les chocs. E. 20200, 20201. CDU 690.25 : 620.1.

261-57. Planchers en bois (Holzfussböden). *ARMBRUSTER (E.)*; *Mitt. Oesterr. Gesellsch. Holzforsch.*, Autr. (mai 1952), vol. 4, n° 2, p. 13-16, 9 fig. — Divers procédés d'établissement des parquets en bois en Amérique et en Europe. Support et isolation des parquets, divers types et moyens d'assemblage des lames. E. 20402. CDU 690.25 : 691.11.

Fac m Toitures. Voûtes. Dômes. Coupoles. Arcs.

262-57. L'escalier, le limon, la rampe par le balancement hélicoïdal. *CHAVAN (A.)*; Genève, Suisse (1952), 1 broch., 4 pl. — Voir analyse complémentaire B-660 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20262. CDU 690.26 (02).

263-57. Quelques remarques concernant la production et le montage des voûtes minces préfabriquées en Tchécoslovaquie (Kilka uwag o produkcji i montażu prefabrykowanych lupin cienkościennych w czechosłowacji). *KOWALCZYK (R.)*; *Przegl. Budowl.*, Pol. (nov. 1951), n° 11, p. 500-503, 14 fig., 1 réf. bibl. — Éléments produits en coffrages métalliques; béton soumis au « curing » (vapeur d'eau). Montage de voûtes sur les piliers au moyen de portiques roulants spéciaux. E. 18175. CDU 690.244 : 693.55.

264-57. Un dispositif en acier supporte de grandes arches en béton (Steel system supports big concrete arches). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (24 avr. 1952), vol. 148, n° 17, p. 71-72, 74, 6 fig. — E. 20348. CDU 690.576 : 690.236.

Fac ÉLÉMENTS NON PORTEURS

Fac j Cloisons. Plafonds.

265-57. Prototyp de plafond-voûte armé en éléments céramique (Pierwszy staloceramiczny dźwigar sklepieniowy). *DOWGIRD (R.)*, *SKOPIŃSKI (J.)*; *Przegl. Budowl.*, Pol. (nov. 1951), n° 11, p. 483-486, 12 fig. — Description du prototype réalisé à l'Institut de la Technique du Bâtiment, à Ksawerow. Construction de poutres longitudinales préfabriquées en éléments céramique armés. Les poutres élémentaires sont disposées sur les cintres et l'ensemble est cimenté. Avantages : poids propre réduit, bonnes caractéristiques thermiques. Problèmes théoriques : nécessité des nervures transversales de contreventement en béton armé classique. E. 18175. CDU 690.254 : 691.4.

Feb HABITATIONS

266-57. L'économie dans la construction des habitations (Economy in house-building). *Depart. Health Scotland (Scott. Hous. Handbook)*, Écosse (1951), n° 6, 7 p. — E. 20524. CDU 728 : 690.031.

267-57. Influence de la hauteur de l'étage sur le prix d'un immeuble d'habitation (Wpływ wysokości kondygnacji na koszt budynku mieszkalnego). *SROKOWSKI (W.)*; *Przegl. Budowl.*, Pol. (mai 1951), n° 5, p. 203-207, 7 fig., 2 réf. bibl. — Le changement de la hauteur d'un étage modifie non seulement le prix total de l'immeuble, mais aussi le prix du mètre cube. Analyse mathématique de cette relation, tableaux et graphiques. Cette étude peut servir comme élément auxiliaire pour les projets d'immeubles économiques d'habitation conformes aux dernières prescriptions de la loi E. 16981. CDU 728 : 690.031.

Feb 1 Habitations individuelles. Maisons. Villas.

268-57. Une maison de série préfabriquée (Ein vorgabriziertes Serienhaus). *NOTHHELFER (K.)*; Éd. : Otto Maier, Ravensburg, All., 1 vol., 48 p., 65 fig. — Voir analyse détaillée B-665 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20195. CDU 728.3 : 694.1 : 693.057.1 (02).

269-57. Construction de murs en terre. IV. Terre stabilisée (Earth wall construction. IV. Stabilized earth). *Commonwealth Experiment. Build. Stn (Sci. Build)*, Austral. (mars 1952), n° SB 22, 4 p., 6 fig., 1 réf. bibl. — L'application des méthodes de construction en terre stabilisée par le ciment ou le bitume peut être un débouché important dans la construction à bon marché de logements et de fermes en Australie. E. 20339. CDU 728.3 : 728.6 : 691.41.

Feb mo Immeubles de rapport.

270-57. Gratte-ciel gainé en aluminium (Skyscraper sheathed in aluminum). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (3 avr. 1952), vol. 148, n° 14, p. 67-71, 7 fig. — Le building Alcoa de trente étages et dont la hauteur atteint 125 m est considéré comme le bâtiment le plus léger de ce genre. Ce résultat est dû à l'emploi de matériaux légers : murs extérieurs à revêtement d'aluminium, planchers en acier léger, béton mousse et enduit de perlite pour l'ignifugation, tuyauteries et installations diverses en aluminium. Détails de construction, fondations, planchers, murs, chauffage et réfrigération, etc. E. 20138. CDU 790.922.2 : 691.77.

Fed BATIMENTS CULTURELS

271-57. Le nouvel hôpital cantonal de Zurich (Das neue Kantonsspital Zürich). *Entreprise*, Suisse (10-11 mai 1952), n° 19, en français : p. 141-146, 15 fig.; en allemand : p. 146-152. — Dispositions et détails constructifs (béton armé). E. 20347. CDU 725.51 : 693.55.

272-57. Architecture religieuse. *Archit. fr.*, Fr. (1952), n° 121-122, p. 9-83, nombr. fig. — Numéro consacré à l'aménagement d'églises anciennes et modernes. Programme et fonctions de l'église. Monastères et asiles. E. 20470. CDU 726.

273-57. Ossature avec fermes préfabriquées pour une église (Portal frame construction for a church). *Architect*, G.-B. (17 avr. 1952), vol. 201, n° 4348, p. 463-466, nombr. fig. — Le système de fermes préfabriquées en béton armé permet de réduire le poids du fer utilisé à environ 12 kg/m² de surface de plancher au lieu de plus de 34 kg pour la charpente en fer. On prévoit que l'emploi de fermes en béton précontraint permettra de réduire le poids de fer à environ 4,9 kg/m². Ces données s'appliquent à des portées de 18,3 m. E. 20133. CDU 726.5 : 693.95.

274-57. Le laboratoire d'ambiance de l'A. S. H. V. E. (The ASHVE environment laboratory). *TASKER* (C.), HUMPHREYS (C. M.), PARMELEE (G. V.), SCHUTRUM (L. F.); *Heat. Pip. Air Condition.*, U. S. A. (mars 1952), vol. 24, n° 3, p. 119-128, 14 fig., 7 réf. bibl. — La nouvelle installation d'essais d'ambiance du Laboratoire de Recherches de l'A. S. H. V. E. à Cleveland, donne toutes facilités pour l'étude du comportement des panneaux chauffants et des réactions humaines à l'ambiance dans diverses conditions d'air, de température et de surface intérieure des murs. Les températures de ces surfaces varient à volonté pour restituer les conditions réelles et la hauteur du plafond est réglable ainsi que la ventilation. Subdivision de la grande salle d'essais en salles plus petites pour les essais comparatifs. E. 20052. CDU 727.5 : 697.353 : 620.1.

Fed OUVRAGES D'UTILITÉ PUBLIQUE

Fed la Alimentation en eau.

275-57. Prise d'eau pour la raffinerie de pétrole de Coryton (Water intake for Coryton oil refinery). *Dock Harbour Author.*, G.-B. (mai 1952), vol. 33, n° 379, p. 13-14, 4 fig. — Un caisson en béton d'une hauteur de 3,9 m a d'abord été construit à Gravesend, puis mis à flot, remorqué sur la Tamise à Tilbury où sa hauteur a été portée à 16 m, puis jusqu'à Coryton, où il a été terminé. Poids total 4 200 t, longueur 30,5 m et largeur 16 m. E. 20272. CDU 628.11 : 725.4.

276-57. Stabilité et activité des solutions de silice activée (Stability and activity of activated silica sols). *HENRY* (C. R.); *J. Amer. Wat. Works Ass.*, U. S. A. (jan. 1952), vol. 44, n° 1, p. 49-57, 5 fig., 8 réf. bibl. — Méthode pour évaluer l'activité d'une solution de silice. Observation et mesure de la stabilité et de l'activité des solutions de silice préparées par neutralisation à l'acide sulfurique du silicate de sodium. Conservation d'une solution à 1,5 % de SiO₂. Effet d'une dilution excessive. Effet du mélange continu. E. 20100. CDU 628.16.

277-57. Collecteur d'eau en tunnel, de 1,9 m de diamètre: nouvelle méthode de forage des tunnels dans l'argile londonienne (A 75-inch-diameter water main in tunnel: a new method of tunnelling in London clay). *SCOTT* (P. A.); *Proc. Instn. civ. Engrs.*, G.-B. (mai 1952),

vol. 1, n° 3, p. 302-317, 5 fig., 8 fig. h. t. — Construction du tunnel d'un diamètre peu supérieur à celui du collecteur, exécuté à titre d'essai sur une longueur de 300 m, avant la réalisation de l'ouvrage réel qui devait avoir 30 km de long. E. 20350. CDU 628.15 : 624.19 : 624.13.

Fed m Hygiène publique.

278-57. L'épuration des eaux d'égout en Angleterre. Enseignements d'un congrès de l'« Institute of Sewage Purification » à Buxton, en juin 1951 (Die Abwasserreinigung in England. Eindrücke von einer Tagung des « Institute of Sewage Purification » in Buxton im Juni 1951). *WIEGMANN* (D. H.); *Wasserwirtschaft*, All. (avr. 1952), n° 7, p. 245-248, 10 fig. — Histoire de la question de l'épuration des eaux en Angleterre pendant les cinquante dernières années. Grilles et filtres à sable. Bassins de décantation. Traitement biologique des eaux. Récupération du gaz méthane. Description des installations visitées à Stoke-sur-Trent, à Sheffield, etc. E. 20137. CDU 628.3 (061.3).

279-57. Revêtement plastique pour la protection d'un égout (Plastic lining protects sewer). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (3 avr. 1952), vol. 148, n° 14, p. 74-75, 6 fig. — Ce revêtement est destiné à protéger un égout en béton d'une longueur de près de 13 km et d'un diamètre variant de 1 m à 1,9 m, contre les attaques du sulfure d'hydrogène et autres gaz. On utilise pour ces travaux de protection un matériau plastique sous forme de feuilles d'une épaisseur de 1,5 mm en résines polyvinylques mélangées de pigments neutres et de plastifiants. Ces feuilles thermoplastiques peuvent être « soudées » entre elles. Mode opératoire. E. 20138. CDU 628.3 : 693.6 : 678.7.

Fib OUVRAGES INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX

Fib ja Mines et carrières.

280-57. Extraction du calcaire à 600 m sous terre (Excavating limestone two thousand feet down). *Muck Shifter*, G.-B. (mai 1952), vol. 10, n° 5, p. 195-201, 8 fig. — Première exploitation de carrière à grande profondeur commencée il y a dix ans dans l'Ohio. Description des travaux de fonçage des puits, du matériel utilisé et du processus des opérations d'extraction ainsi que des dispositifs de sécurité. E. 20268. CDU 622.35 : 691.215.11 : 621.879.

Fib je Industrie.

281-57. Guide des principales prescriptions concernant la sécurité dans les usines, 1937 et 1948 (A guide to the principal safety requirements of the factories acts 1937 and 1948). Ed : The Royal Society for the Prevention of Accidents, Londres, G.-B. (oct. 1951), 2^e édit., 1 vol., 90 p. — Voir analyse détaillée B-663 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20198. CDU 725.4 : 614.8 : 331.823 (02).

282-57. Les bains dans les usines (Kapieliska fabryczne). *SOLECKI* (T.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (déc. 1951), n° 12, p. 465-468, 10 fig. — Projet d'un établissement de douches pour une usine. Nombre de douches nécessaire selon le nombre de travailleurs. Dimensions des cabines, leur disposition. Organisation générale de la salle de bains et de ses annexes. Surfaces nécessaires. E. 18788. CDU 725.4 : 643.52.

283-57. Préparation mécanique et concentration des minerais par flottation et sur liqueurs denses. *HAVRE* (H.); Ed : Librairie polytech. Ch. Béranger, Paris; Liège, Belg. (1952), 2^e édit., 1 vol., vi + 760 p., 335 fig., 3 pl. h. t., 202 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-652 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20306. CDU 725.4 : 691.7 (02).

284-57. Des murs en verre, de hautes baies, des conditions de terrain particulières, caractérisent la construction d'un bâtiment coloré pour une usine de fabrication de vinaigre et d'un entrepôt (Glass walls, high bays, strange ground conditions made construction tricky on colorful vinegar building and warehouse). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (13 mars 1952), vol. 148, n° 11, p. 51-52, 2 fig. — Le bâtiment destiné à la fabrication du vinaigre occupe une superficie de 27 × 94 m et l'entrepôt : 76,2 × 152,5 m. L'ossature est métallique et les parois sont en verre coloré. E. 20135. CDU 725.4 : 690.22 : 691.6.

Fib l Dépôts de marchandises. Marchés.

285-57. La halle à marchandise de la Société nationale des Chemins de Fer français à Avignon (Vaucluse). *BERNIS* (R.); *Tech. Trav.*, Fr. (mai-juin 1952), n° 5-6, p. 140-144, 12 fig. — Bâtiment à toiture vitrée autoportante en béton armé de 54 m de portée. E. 20517. CDU 725.35 : 725.31 : 690.244 : 693.55.

Fib n Production d'énergie. Barrages.

286-57. Manuel de la construction hydraulique (Handbuch des Wasserbaues). *SCHOKLITSCH* (A.); Ed : Springer, Vienne, Autr. (1952), t. 2, 2^e édit., 1 vol., VIII + 594 p., 1 353 fig., nombr. réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-678 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20500. CDU 627.8 : 627.1 (02).

287-57. Hydraulique générale et appliquée. *Lexique technique anglais-français*. *BOUCHER* (R.); Ed : École polytech., Montréal, Canada (1950), 2^e édit., 1 vol., 52 p., 8 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-664 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20577. CDU 532 : 627.8 (02).

288-57. Installations de barrages et de retenue d'eau (Wehr und Stauanlagen). *DEHNERT* (H.); Ed : Walter de Gruyter und Co, Berlin, All. (1952), 1 broch., 134 p., 90 fig., 24 réf. bibl. — Voir analyse détaillée B-672 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20196. CDU 627.8 (02).

289-57. Des essais effectués sur le chantier du barrage de Pine-Flat déterminent l'effet de la granulométrie du sable employé pour le béton maigre (Field tests at Pine Flat dam determine effect of sand grading for lean concrete). *BURKS* (S. D.); *West. Constr.*, U. S. A. (mars 1952), vol. 27, n° 3, p. 69-71, 6 fig. — Au barrage de Pine-Flat, on a obtenu un béton massif de haute qualité en n'utilisant que 111 à 139 kg de ciment par m³ grâce à l'adoption d'une dimension convenable des grains de l'agrégal fin. Pour obtenir les meilleurs résultats il faut que les variations de la teneur en humidité soient le plus faible possible. Influence de la proportion de grains fins et de la quantité d'air entraîné. E. 20309. CDU 691.322 : 627.8.

290-57. La dérivation de Morganza captera un débit de près de 17 000 m³/s sur le Mississippi (Morganza floodway to steal 600,000 cfs of Mississippi's thunder). *WHITE* (D. L.); *Civ. Engng.*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 22, n° 4, p. 48-53, 14 fig. — Cette dérivation destinée à éviter ou limiter les inondations dues aux crues du Mississippi, permettra de prélever 17 000 m³/s sur le fleuve, pour les déverser dans un bassin de Atchafalaya qui débouche dans l'Atlantique. Déversoir de 1 220 m de long, en béton. E. 20308. CDU 627.8 : 699.8.

291-57. Le barrage et l'usine hydro-électrique de Belver, sur le Tage (Portugal). *DI BELLA* (R.); *Tech. Trav.*, Fr. (mai-juin 1952), n° 5-6, p. 157-177, 42 fig. — Barrage fixe avec écluse et barrage mobile à faible chute. Usine hydro-

électrique de 44 000 ch. Description détaillée des ouvrages et des travaux. E. 20517.

CDU 627.8.

292-57. Retour à la méthode enrochements sur a rivière Bear (Revive rock fill at Bear River). GREEN (R. J.); *Excav. Engr.*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 48, n° 4, p. 20-27, 13 fig. — L'antique mode de construction par enrochements a été remis à l'honneur dans la construction des barrages à Jackson (Californie), en particulier. Travaux du barrage ainsi réalisé sur la Bear River. E. 20316.

CDU 627.8.

293-57. Revêtement asphaltique pour étancher les fuites d'un ancien barrage en terre (Asphaltic membrane to stop seepage from old earth dam). GRIFFITH (F. E.); *West. Constr.*, U. S. A. (mars 1952), vol. 27, n° 3, p. 95, 2 fig. — Sur ce barrage vieux de cinquante ans, les fuites atteignaient près de 25 000 m³/jour. E. 20309.

CDU 627.8 : 691.41 : 699.82.

294-57. Ouvrages du bloc usine-écluse sur le canal de Donzère-Mondragon. II. Les travaux de bétonnage. *Tech. mod. Constr.*, Fr. (avr. 1952), t. 7, n° 4, p. 109-118, 11 fig., 1 réf. bibl. — Avancement des travaux. Installations et moyens du chantier : installations de fabrication du béton, transport du béton. Préfabrication : coffrages préfabriqués, toiture de l'usine, claustras. Travaux d'étanchement et de drainage : voiles d'étanchéité dans le rocher, rideaux de drainage, injections de collage, écrans d'étanchéité dans les alluvions de la rive droite, importance des travaux. E. 20265.

CDU 627.8 : 626.41.

295-57. Les barrages déversoirs à fente aspiratrice. IV (fin). ÉSCANDE (L.); *Génie civ.*, Fr. (1^{er} mai 1952), t. 129, n° 9, p. 164-167, 15 fig. — Étude expérimentale du coefficient et des dépressions de divers types de barrages à fente. Stabilité de la lame déversante dans un des types de barrage. Conclusions. E. 20319.

CDU 532 : 627.8.

296-57. Chute d'Ottmarsheim : écluses. CLÉMENT (M.); *Travaux*, Fr. (mai 1952), n° 211, p. 169-178, 11 fig. — Construction des écluses du grand canal d'Alsace à Ottmarsheim. Profil type à deux sas de 23 m et 12 m de largeur, Têtes d'écluses. Dispositifs d'alimentation et de vidange. Fonctionnement. Équipement mécanique et électrique. Dispositif de sécurité d'exploitation. Exécution des travaux. E. 20241.

CDU 627.8 : 626.42.

Fid VOIES DE COMMUNICATION

Fid ja Routes.

297-57. L'étude du sous-sol des routes. ARANTES E OLIVEIRA (M. E.); *Minist. Obras publ. Lab. Engenharia civ.*, Portug. (1951), Publ. n° 22, 31 p. (en français). [Rapport général présenté au IX^e Congrès international de la Route de Lisbonne (1951) concernant les progrès accomplis depuis le Congrès de La Haye (1938)]. — Détermination des propriétés du sous-sol; méthodes d'essais; appareils de mesure; compaction du sol, stabilité du sous-sol; routes sur sous-sols mous. Stabilisation des sols en vue de leur emploi dans les fondations; revêtements de routes. Conclusions des divers rapports présentés. E. 20175.

CDU 625.731 : 624.138 : 620.1.

298-57. L'étude du sous-sol des routes. ARANTES E OLIVEIRA (M. E.); *Minist. Obras publ. Lab. Engenharia civ.*, Portug. (1951), Publ. n° 23, 26 p., 10 fig., 12 réf. bibl. (en français). (Rapport portugais présenté au IX^e Congrès international de la Route à Lisbonne, 1951). — 1^{re} partie: Méthode d'essais; appareils de mesure; commentaires sur les théories de la mécanique des sols. 2^e partie : Stabilisation des sols; procédés par mélange de terres. E. 20176.

CDU 625.731 : 624.131-3 : 620.1.

299-57. L'élargissement de revêtements de routes sans formes latérales économisera cette année un million de dollars à l'État d'Illinois (Illinois will save a million dollars this year by widening pavement without side forms). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (17 avr. 1952), vol. 148, n° 16, p. 59-61, 10 fig. — L'économie réalisée par cette méthode est évaluée entre 1 000 et 1 500 dollars par mille. E. 20313.

300-57. Étude de la résistance mécanique des revêtements en béton. I. PELTIER (R.); *Tech. mod. Constr.*, Fr. (avr. 1952), t. 7, n° 4, p. 124-128, 2 fig. — Méthodes actuelles de calcul des efforts dans les dalles (Westergaard et Burmister). Exposé de la méthode expérimentale de Dantu. Supposant le sol et la dalle parfaitement élastiques, on opère sur modèle réduit, en choisissant, pour la dalle, un miroir en verre argenté qui permet la mesure optique des déformations et, pour le sol, un bloc de liège. Relation entre les contraintes et la déformation de l'image lumineuse d'un quadrillage. Résultats obtenus; application pratique des résultats. E. 20265.

CDU 625.84 : 693.54 : 620.1.

301-57. Recherches effectuées avec une nouvelle machine d'acier sur la grosseur des grains, leur répartition granulométrique et les liants à employer pour revêtements réalisés avec éléments fins (Untersuchungen über Korngrösse, Kornabstufung und Bindemittel für Feinmineraldecken mit einer neuen Strassenprüfmaschine). HERION (G.); *Strassen-Tiefbau*, All. (avr. 1952), n° 4, p. 119-122, 11 fig., 5 réf. bibl. — Essais des revêtements constitués d'éléments fins à l'intérieur d'une caisse climatisée, afin de déterminer l'influence de la température, de la grosseur des grains, de la composition granulométrique et du type de liant sur les propriétés des revêtements. E. 20275.

CDU 625.84 : 693.54 : 691.322.

302-57. Revêtement en béton de ciment sans joints, d'après le brevet du Conseiller commercial Dr Deidesheimer (Fugenlose Zementbetondecke nach Patent Kommerzienrat von Dr. Deidesheimer). MORCENBROD (A.); *Strassen-Tiefbau*, All. (avr. 1952), n° 4, p. 123, 2 fig. — Description du procédé « Deriso » mis au point pour réaliser un revêtement économique et consistant à placer à la main des pierres de la grosseur des petits pavés d'empierrement et à les recouvrir après cylindrage, d'un mélange de liant bitumineux et de petits éclats de pierre pour remplir les vides. E. 20275.

CDU 625.84 : 693.54.

303-57. Revêtements minces de chaussées en béton placés sur forme en béton (Dünne Betonfahrbahndecke auf Betonunterbau). STREIT (D.); *Strassen-Tiefbau*, All. (avr. 1952), n° 4, p. 126-128, 5 fig. — Recherches effectuées en vue de l'amélioration des revêtements routiers et leurs résultats, en considérant principalement l'interdépendance de l'épaisseur de la chape et de la forme; directives pour choisir le meilleur type de forme. Essais effectués sur d'anciennes formes en béton, et sur des formes nouvelles. En conclusion, on propose de séparer la chape et la forme en les faisant agir chacune pour leur compte. E. 20275.

CDU 625.84 : 693.54.

304-57. Développement technique et problème soulevés par la construction de routes en béton en Allemagne. I (Technische Entwicklung und Probleme des deutschen Betonstrassenbaues). STREIT (G.); *Beton-Stahlbetonbau*, All. (mai 1952), n° 5, p. 118-122, 2 fig. — E. 20409.

CDU 625.84 : 693.54.

305-57. Méthode de construction de joints utilisant des supports préfabriqués (Dummy joints using preformed supports). LOE (J. A. et O. D.); BROAD (B. A.); *Constr. Rev.*, Austral. (2 fév. 1952), vol. 24, n° 10, p. 23-26, 5 fig. (tiré de: *Roads Road Constr.*, oct. 1951, vol. 29, n° 346). — Description d'un procédé breveté pour réserver des joints de dilatation dans les routes en béton vibré. Méthode de réalisation

du joint par une barre d'acier revêtue de caoutchouc. Avantages et inconvénients du procédé. E. 20105.

CDU 625.84 : 693.556.4 : 688.5.

306-57. Contribution à de nouveaux développements dans la construction des routes en asphalte. I (Beitrag zur neueren Entwicklung im Asphaltstrassenbau. I). NUSSEL (H.); *Bitum. Teere Asph. Peche ver. Stoffe*, All. (avr. 1952), n° 4, p. 84-87, 7 fig., 4 réf. bibl. — Étude de la norme 1995 DIN. Peu de modifications sur les bitumes, augmentation du taux des émulsions. Emploi des bitumes pour la réalisation des revêtements de routes : conditions d'un bon ouvrage; exécution des travaux. Revêtements renforcés. Chapes d'asphalte. L'asphalte Damann. Bétons d'asphalte. E. 20145.

CDU 625.85 : 691.161.

307-57. Contribution à de nouveaux développements dans la construction des routes en asphalte. II (fin) (Beitrag zur neueren Entwicklung im Asphaltstrassenbau). NUSSEL (H.); *Bitum. Teere Asph. Peche ver. Stoffe*, All. (mai 1952), n° 5, p. 113-116, 5 fig., 7 réf. bibl. — Procédé dit « du sable humide ». Mélanges de sable, chaux et bitume. L'accroissement des charges des véhicules routiers oblige à considérer non plus seulement la résistance du revêtement, mais celle de la couche sous-jacente. E. 20522.

CDU 625.85 : 691.161.

308-57. Sections expérimentales de routes en goudrons de lignite (Odcinki probne ze smol z wegla brunatnego). PRZEWIRSKI (F.); *Biul. Inst. tech. Budowl.*, Pol. (août 1951), n° 3 c, p. 11 c-17 c, 22 fig., 2 réf. bibl. — Détermination des mélanges : goudron de houille, goudron de lignite. Substances additionnelles (farine de basalte, etc.). Description de l'exécution des sections expérimentales sur le terrain. Essais au laboratoire des échantillons pris sur le chantier. Jusqu'à présent l'utilisation de ces mélanges a donné de bons résultats. E. 18411.

CDU 625.85 : 691.161 : 620.1.

309-57. La construction de garages dans la cité. BRANCHE (P.), VACHER (P.); *Archit. Auj.*, Fr. (avr. 1952), n° 40, p. 50-51. — Définition et réglementation du vocabulaire « garages ». Capacité de garages en zone résidentielle. Répartition et placement de garage. Construction de l'unité garage. Parcs de stationnement. Garages dans la zone résidentielle. Postes de distribution. Atelier important de la zone industrielle. E. 20302.

CDU 725.382.

310-57. Garages. *Archit. Auj.*, Fr. (avr. 1952), n° 40, p. 52-69, nombr. fig. — Présentation de plans et de photographies commentés de onze constructions de garages en Allemagne, Suède, U. S. A., Mexique, France. E. 20302.

CDU 725.382.

311-57. Bordures de trottoir en béton en Hollande (Concrete kerbs in Holland). VAN DER MEULEN BOSMA (P. F.); *Concr. Build. Concr. Prod.*, G.-B. (mai 1952), vol. 27, n° 5, p. 93-95, 11 fig. — Ce type de bordure utilisé sur les routes hollandaises est en forme de L et la partie supérieure est parfois protégée par des cornières métalliques. Il en existe deux types de dimensions différentes : 0,4 × 0,5 m et 0,2 × 0,3 m. On utilise également des bordures plus larges comme voies cyclables. Joints et moules pour bordures en béton. E. 20269.

CDU 625.88 : 693.54.

Fid I Voies maritimes.

312-57. Étude mécanique du choc se produisant lors de l'accostage d'un navire à un quai. PAGÈS; *Ann. Ponts Chauss.*, Fr. (mars-avr. 1952), n° 2, p. 205-217, 6 fig. — Étude du mouvement du navire par la théorie des percussions, d'abord dans le cas d'un choc sans percussion tangentielle et sans rebondissement, puis avec percussion tangentielle et sans rebondissement; on reprend ensuite le calcul du premier cas (sans frottement latéral) par une autre méthode. E. 20572.

CDU 627.3 : 539.3.

313-57. L'ensablement de l'Eider. Causes et mesures de défense (Die Versandung der Eider. Ursachen und Gegenmassnahmen). WEIN-NOLDT, BAHR; *Wasserwirtschaft*, All. (mai 1952), n° 8, p. 255-266, 7 fig. — E. 20519.

CDU 627.4 : 627.1.

314-57. Le calibrage de la Marne dans la région parisienne et l'approfondissement du chenal pour l'accès au port de Bonneuil. GASPARD (B.), CHARLOT (G.); *Travaux*, Fr. (mai 1952), n° 211, p. 211-219, 21 fig. — Description des travaux d'aménagement de la bouche de la Marne et comportant le calibrage de la Marne sur une section, le creusement d'un chenal sur une autre section, l'aménagement d'un pointis. Profils adoptés. Protection des berges. Constitution du pointis. Mode d'exécution des travaux en trois périodes. E. 20241.

CDU 627.3 : 386.2 : 627.1.

315-47. Brise-lames à bon marché en blocs de béton (Concrete blocks form low-cost groins). WEBER (H.); *Engng News-Rec.*, U. S. A. (10 avr. 1952), vol. 148, n° 15, p. 73-74, 5 fig. — Ouvrages exécutés en 1948 et 1950 en divers points de Long Island pour protéger les côtes contre l'érosion. Détails de l'exécution des brise-lames. Description des blocs en béton les constituant. Fabrication des blocs en usine. Leur transport et leur mise en place. Appareils de manutention utilisés. Coût de la construction. E. 20104. CDU 627.3 : 691.32 — 412.

Fid p Voies aériennes.

316-57. Note sur un procédé spécial et un nouveau procédé matériel pour la construction de pistes d'aviation en béton de ciment à l'aérodrome de Strasbourg-Entzheim. TABART; *Rev. gén. Routes, Aérodr.* Fr. (mai 1952), n° 244, p. 45-48, 5 fig. — Mode de construction de pistes en béton à gros éléments compacté. Matériel utilisé. Résultats obtenus. Conclusions. E. 20518. CDU 629.139.1 : 693.54 : 625.8.

317-57. Procédé pour renforcer les fondations des pistes d'un aéroport (How to harden an airport runway base). BRID (N. C.); *Engng News-Rec.*, U. S. A. (13 mars 1952), vol. 148, n° 11, p. 60-61, 4 fig. — Les pistes de l'aéroport de Cairo étaient sérieusement endommagées par les eaux souterraines. On a pu y remédier en stabilisant environ 34 000 m² de pistes par le procédé sol-ciment, avec une proportion de 8 % de ciment de Portland sur une épaisseur de 0,14 m. Matériel utilisé. Procédé de construction. Résultats obtenus. E. 20135.

CDU 629.139.1 : 624.138 : 691.542.

Fif OUVRAGES D'ART

Fif j Souterrains.

318-57. Le problème du forage dans la construction moderne des tunnels. I-II. (Das Bohrproblem im modernen Tunnelbau. I-II). RABCEWICZ (L.); *Schweiz. Bauztg.*, Suisse (26 avr. 1952), n° 17, p. 241-244, 8 fig., 3 réf. bibl.; (3 mai 1952), n° 18, p. 260-263, 13 fig., 1 réf. bibl. — L'outil de forage moderne et son évolution. Vitesse de perçage optimum. Types et propriétés des foreuses. Type, forme et degré d'usure des mèches. Pression de service. E. 20152. E. 20271.

CDU 624.13 : 624.19 : 621.879.

319-57. Une poussée de 160 t, obtenue par des

véris, maintient le front de taille d'un tunnel de 10,3 m de large et 1,3 m de hauteur à la clef, en construction à San Francisco (This unique breastboard jumbo developed by Horrisson-Knudsen features driving procedure for the roadway tunnel in San Francisco where 160-ton push supports tunnel face). *West. Constr.*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 27, n° 4, p. 70-73, 7 fig. — E. 20351.

CDU 624.19 : 690.354.

320-57. Calcul des tensions dans la paroi d'un tunnel à partir des mesures de déformations effectuées sur modèles réduits (Wyznaczenie naprezen w obudowie tunelowej na podstawie pomiarow odkształcen modeli doswiadczalnych). POGANY (W.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (jan. 1952), n° 1, p. 24-26, 7 fig. — Essais des sections de tunnel pour le futur métro de Varsovie effectués sur modèles en paraffine soumis à la pression d'un massif de terre pulvérulent. Similitude des déformations de la paraffine et du béton. Calcul du rapport de similitude. Essais de différentes sections proposées pour le tunnel. Sections dangereuses. Exemples numériques. (Concordance à 5 % près avec la formule de Voellmy.) E. 19447.

CDU 624.18 : 624.131 : 620.015.7.

Fif m Ponts.

321-57. Cours de ponts en maçonnerie. SEVIN (E.); Ed.: Eyrolles, Paris (1952), 4^e édit., 1 vol., 286 p., 185 fig., 6 fig. h. t., 2 pl. h. t. — Voir analyse détaillée B-646 au chap. III « Bibliographie ». — E. 20573.

CDU 624.2/8 : 693.1 (02).

322-57. Reconstruction du pont de Saint-Jean-de-Losne sur la Saône. GUENOT, PEZET; *Ann. Ponts Chauss.*, Fr. (mars-avr. 1952), n° 2, p. 151-176, 13 fig. (résumé anglais). — Construction d'un pont cantilever en béton armé de 160 m de longueur. Les poutres-consolides de 52 m de longueur, pesant, les unes 155 t et les autres 185 t, ont été préfabriquées sur la rive et transportées en place sur une portière flottante. Composition de l'ouvrage. Détails des opérations de bardage. E. 20572.

CDU 624.27 : 693.55.

323-57. Études de ponts-routes constitués par des dalles et des poutres. III. Essais sur modèles réduits (Studies of slab and beam highway bridges : Part III. Small-scale tests of shear connectors and composite T-beams). SISS (C. P.), VIEST (I. M.), NEWMARK (N. M.); *Univ. Illinois Engng Exper. Sin.*, U. S. A. (1952), Bull. sér. n° 396, 133 p., 67 fig. — Ce rapport relate trois séries d'essais effectués sur les assemblages soumis à un effort tranchant et les poutres en T. Les modèles réduits soumis aux essais étaient à peu près à l'échelle du quart des éléments normaux. Ces essais ont eu pour but de déterminer les meilleurs types d'assemblages. Résultats des essais qui sont pour la plupart seulement qualitatifs et comparaison avec les calculs théoriques. E. 20355.

CDU 624.27 : 625.74 : 620.1.

324-57. Poutre composée à treillis à semelle en béton armé (Der Fachwerkverbundträger mit einem Stahlbetongurt). SATTLER (K.); *Bautechnik*, All. (mai 1952), n° 5, p. 118-124, 10 fig., 6 réf. bibl. — Théorie d'un nouveau procédé de construction des ponts, qui prévoit une ou deux semelles des poutres en béton armé ou précontraint, les autres éléments étant en acier. Déplacements de forces résultant du retrait et du fluage du béton, mode d'action

combinée du béton et des membrures en acier. E. 20377. CDU 624.27 : 693.55 : 693.97.

325-57. Pont préfabriqué en béton armé (Prefabrykowany most z betonu). MAKULSKI (W.); *Inzyn. Budown.*, Pol. (jan. 1952), n° 1, p. 14-19, 24 fig. — Description d'un pont pour le transport des marchandises dans une filature. Il est composé de deux poutres à treillis en béton armé, en éléments rainurés préfabriqués supportant un plancher en dalles. Le terrain sablonneux mauvais a nécessité un allègement important de la construction (50 %) par rapport aux réalisations classiques. Calculs statiques des treillis (méthode de Cross). Tableaux détaillés des calculs. Économie des matériaux utilisés. E. 19447.

CDU 621.874 : 693.55 : 624.17.

326-57. Le plus grand pont en béton de Californie. Trois arches pour franchir 238 m (For the biggest concrete bridge in California. Three arches to span 780 feet). *West. Constr.*, U. S. A. (mars 1952), vol. 27, n° 3, p. 65-67, 8 fig. — Le pont est composé d'une arche centrale de 97 m de portée et de deux arches latérales de 70 m. Il supporte une route à six voies de circulation. Coffrage et cintres pour la construction des arches. Avancement des travaux. E. 20309.

CDU 624.6 : 693.55.

327-57. Le viaduc de la Méditerranée. Arc à appuis renforcés (« Viaduc de la Méditerranée », ein Bogen mit verstärkten Kämpfern). HERBERG; *Beton-Stahlbau*, All. (mars 1952), n° 3, p. 66-69, 8 fig., 4 réf. bibl. — Pont construit sur le tronçon de voie ferrée Givors-Chasse. Troisième pont en arc construit en France avec appuis renforcés renouvés. Avantages de la construction. Description des éléments du pont; charges roulantes supportées; dimensions des caissons constituant les arcs. Caractéristiques du platelage. Caractéristiques des arcs latéraux. Contraintes admises dans les calculs. Moments dans le grand arc. Calcul du platelage, compte tenu de la rupture possible de deux montants. Exécution des travaux. Essais de chargement. E. 19595.

CDU 624.6 : 620.1 : 518.5.

328-57. Économies réalisées par l'emploi d'un système de ponts biais basculants (Skew bascule design puts bridges inside budget limit). *Engng News-Rec.*, U. S. A. (13 mars 1952), vol. 148, n° 11, p. 53, 1 fig. — Utilisation du système Clinton D. Hanover pour la construction de deux ponts biais basculants sur le canal de Miami. L'économie réalisée a été d'environ 15 % du prix primitivement prévu. Les deux ponts basculants traversent le canal sous un angle de 45°. Ils peuvent basculer jusqu'à 78°, au-dessus du plan horizontal. En position basse, ils laissent un passage libre de 3,35 m. Les chaussées qu'ils supportent ont une largeur de 13,4 m. Détails de construction. E. 20135.

CDU 624.82 : 625.74.

329-57. Pont à péage de 24 km en construction dans la partie basse de la baie de Tampa (Fifteen-mile toll bridge under construction across lower Tampa bay). QUADE (M. N.); *Civ. Engng.*, U. S. A. (avr. 1952), vol. 22, n° 4, p. 25-30, 10 fig. — Le pont comporte une partie A, avec travée centrale à double bascule, une partie B, une partie C de 6 824 m dont la partie centrale assure à la navigation un passage libre de 244 m de large sur une hauteur de 45 m, deux parties D et E sur appuis en béton. La chaussée a 8,55 de large. E. 20308.

CDU 624.82 : 625.74.

II. — TRADUCTIONS

D'ARTICLES TECHNIQUES EFFECTUÉES PAR L'INSTITUT TECHNIQUE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS.

Des reproductions de ces traductions peuvent être fournies aux adhérents de l'Institut Technique, moyennant une participation aux frais de traduction fixée forfaitairement à 300 F la page dactylographiée du format normal.

329. Portiques rigides soudés de 68 m de portée pour stade couvert sur terrain largement dégagé (Welded rigid frames span 224 ft for coliseum with large unobstructed arena). COBLENTZ (R. E.); *Engng News-Rec.*, U. S. A. (12 juil. 1951), vol. 147, n° 2, p. 28-32, 7 fig. — Description de portiques de 68 m de portée espacés de 8,2 m, ayant une hauteur de 16,7 m aux retombées et de 26,8 m au sommet et supportant une toiture légère (224 kg/m² de poids mort et surcharge). Portiques construits entiè-

rement à l'aide de tôle. Assemblages soudés tant en usine que sur chantier. Procédé de montage comportant des pylônes roulants pour transport des éléments et des mâts à palans pour le levage. Mode d'exécution du soudage sur chantier. Dépenses d'exécution. E. 20425, 10 p.

333. Drains horizontaux. Méthode économique de stabilisation des talus (Horizontal drains. A cheaper method for stabilizing slopes). HIRSCH (A. D.); *West. Constr.*, U. S. A.

(août 1950), p. 77-78, 5 fig. — Résultats obtenus en Californie pour stabiliser des glissements de terrains et des effondrements de routes en employant des drains horizontaux ou faiblement inclinés, disposés transversalement aux talus sur des longueurs de 30 à 60 m (et même 91 m). Réalisation par trous de 90 à 100 mm gainés avec des tubes en métal de 50 mm. Types d'appareils de forage utilisés. Conduite des travaux. Éléments affectant les dépenses. E. 20508, 7 p.

III. — BIBLIOGRAPHIE

Chaque analyse bibliographique donnant le nom et l'adresse de l'éditeur et le prix de vente, les adhérents de l'Institut Technique sont priés de s'adresser directement aux éditeurs et aux librairies pour se procurer les ouvrages qu'ils désirent acquérir; toutefois pour les ouvrages édités à l'étranger, il est préférable de les commander par l'intermédiaire de librairies spécialisées dans l'importation. Tous renseignements complémentaires seront fournis sur demande par l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, 8, boulevard Raspail, Paris-VII^e.

B-646. Cours de ponts en maçonnerie. SEVIN (E.); Éd.: Eyrolles, 61, boulevard Saint-Germain, Paris (1952), 4^e édit., 1 vol. (16,5 × 25,5 cm), 286 p., 185 fig., 6 fig. h. t., 2 pl. h. t., F : 1 700. — Chapitre I : Historique des ponts, évolution des procédés de construction. Chapitre II : Considérations générales applicables à tous les ponts et relatives aux définitions, à l'emplacement et au débouché. Chapitre III : Ce que la pratique enseigne en ce qui concerne les fondations des ponts. Chapitre IV : Détermination et montage des arches d'un ouvrage. Chapitre V : Tracé de l'intrados en vue de la stabilité et de l'aspect. Chapitre VI : Divers procédés de détermination de l'épaisseur à donner aux voûtes, tracé des extrados. Chapitre VII : Stabilité des voûtes par la méthode de Méry et par la méthode de Résal. Chapitre VIII : Stabilité des piles et des culées. Chapitre IX : Appareil des voûtes, des piles et des culées. Chapitre X : Construction des tympans, des couronnements et des parapets. Chapitre XI : Ponts biais, tracé de l'appareil orthogonal, de l'appareil hélicoïdal, de l'appareil convergent. Chapitre XII : Ponts en rampe, pont en courbe, ponts du type Séjourné, en deux anneaux. Chapitre XIII : Divers systèmes d'établissement des cintres, leur calcul et les procédés de décentrement. Chapitre XIV : Construction des voûtes. Chapitre XV : Procédés de construction des ponts en béton. Chapitre XVI : Chapes de protection des ponts, procédés d'élargissement des ouvrages E. 20573.

B-647. La vibration du béton. BARCELO (G.); Éd.: Eyrolles, 61, boulevard Saint-Germain, Paris (1952), 1 vol. (16,5 × 25 cm), 219 p., nombr. fig., 282 réf. bibl., F : 1 300. (traduit de l'espagnol par M. J. RICOUD). — Importance de la vibration et son évolution; expériences et normes officielles. Propriétés fondamentales du béton : compacité, résistance mécanique et formules des bétons, imperméabilité, retrait. But et avantages de la vibration, ses perspectives. Compactage du béton, ses méthodes et les effets de la vibration: Consistance et maniabilité; leur mesure. Composition

du béton, quantités d'eau et de ciment. Granulométrie des agrégats, granulométrie discontinue, granulométrie continue. Classement des agrégats, étude des agrégats pour le béton vibré. Coffrages et leurs conditions pour l'emploi du béton vibré. Théorie de la vibration : frottement interne, théorie de Freyssinet, équations de la vibration, vibration sélective, efficacité et propagation, vibration-compression. Conditions pour réaliser la vibration : durée, fréquence et amplitude, rayon d'action du vibreur, conditions à exiger du béton, etc. Appareils vibratoires, leur classification : vibreurs alternatifs, vibreurs giratoires, choix du vibreur, rendement, économie. Vibration indirecte par table vibrante, vibration des coffrages. Vibration directe superficielle. Vibration interne, pervibration. Vibration appliquée au béton armé, au béton aéré, au béton sous vide, au colcrete. En annexe : recommandations concernant l'exécution des ouvrages en béton vibré. E. 20267.

B-648. Notions de travaux publics. ALLARD (R.), KIENERT (G.); Éd.: Eyrolles, 61, boulevard Saint-Germain, Paris (1952), 1 vol. (16,5 × 25 cm), 278 p., 395 fig., 18 réf. bibl., F : 1 800. (Bibl. Inst. Topométrie Conservatoire nation. Arts Métiers). — Exposé rapide et résumé des principales questions relatives aux travaux publics. Deux parties principales traitant, l'une des routes, l'autre des ouvrages d'art. Première partie : Titre I : étude des projets de voirie, documents de base pour études des projets (cartes et plans, planimétrie et relief, profils en long et en travers, etc.) cubature et mouvement des terres, étude générale d'un tracé de route. Titre II : construction d'une route de rase campagne (tracé, constitution des chaussées, amélioration des routes existantes). Titre III : rues, tracé et profil, construction des chaussées, bordures, trottoirs, etc., ouvrages accessoires d'assainissement éclairage, plantations, passages de piétons, signalisation et canalisations souterraines ou aériennes. Deuxième partie : Titre IV : généralités sur les ouvrages d'art, différentes catégories, règles générales applicables à leur étude, considérations sur les fondations. Titre V : ponts et

souterrains, (ponts en maçonnerie, en béton armé, métalliques, charpente en bois). Titre VI : divers soutènements, équilibre des talus, revêtements naturels et artificiels, murs de soutènement, murs de quai, digues. Titre VII : barrages, barrages régulateurs, fixes et mobiles, barrages de chute. E. 20574.

B-649. Théorie de l'élasticité. TIMOSHENKO (S.) Éd.: Librairie polytechnique Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, Paris; 1 quai W. Churchill, Liège, Belg. (1948), 1 vol. (16 × 24 cm), xx + 446 p., 203 fig., réf. bibl., F : 3 600 (traduit de l'anglais par A. DE RIVA BERNI). — I. Tension et déformation dans un milieu à deux dimensions; équations différentielles de l'équilibre; équations de compatibilité; fonctions de tension. II. Problèmes à deux dimensions en coordonnées rectangulaires; solution par les polynômes. Principes de Saint-Venant; flexion de poutres diversement chargées; solution par série de Fourier. III. Problèmes à deux dimensions en coordonnées polaires; équations générales en coordonnées polaires; flexion d'une barre courbe; disques animés d'un mouvement de rotation; effets de la présence d'une ouverture circulaire sur la distribution des tensions; cas d'action de forces concentrées; solution générale en coordonnées polaires et applications; photo-élasticité. IV. Méthodes basées sur l'énergie de déformation; énergie de déformation; principe du travail virtuel; théorème de Castigliano; principe du moindre travail et applications; plaques rectangulaires; largeuvre effective des ailes larges de poutres. V. Résolution des problèmes à deux dimensions au moyen de la variable complexe; équations de l'équilibre exprimées en fonction des déplacements élémentaires; fonctions d'une variable complexe; coordonnées curvilignes orthogonales; problèmes à deux dimensions en coordonnées elliptiques; inversion. VI. Étude des tensions et des déformations à trois dimensions; ellipsoïde des tensions; tensions principales; cisaillement maximum; déformation homogène; axes principaux de déformation. VII. Théorèmes généraux; équations différentielles de l'équilibre, conditions de comptabilité; détermination des

déplacements; équations de l'équilibre exprimées en fonction des déplacements; tensions d'origine thermique; tensions initiales. VIII. Problèmes élémentaires d'élasticité à trois dimensions; torsion d'arbres circulaires; flexion simple de barres prismatiques et de plaques. IX. Torsion; torsion de barres de sections diverses; analogie de membrane; solution par la méthode de l'énergie; torsion des profilés laminés; emploi du film de savon; torsion des arbres creux et des tubes minces, etc. X. Flexion d'une barre prismatique; barre encastrée; fonction de tension; sections transversales circulaire, elliptique, rectangulaire; méthode du film de savon. XI. Tensions distribuées symétriquement par rapport à l'axe d'un solide de révolution; plaque circulaire; récipient sphérique; pression au contact de deux corps; choc de sphères; tensions dues à la chaleur. XII. Propagation des vibrations dans les milieux élastiques solides; vibrations longitudinales dans une barre; ondes de dilatation et ondes de distorsion; ondes planes; propagation des ondes à la surface d'un corps élastique solide. E. 20576.

B-650. Résistance des matériaux. I. Théorie élémentaire et problèmes. TIMOSHENKO (S.); Éd.: Librairie polytechnique Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, Paris; 1, quai W. Churchill, Liège, Belg. (1947), 2^e édit., traduite de l'anglais par Ch. LAFFITTE, 1 vol. (16 × 24 cm), xvi + 351 p., 301 fig., réf. bibl., F : 3 600. — I. Traction et compression en deçà de la limite élastique. II. Analyse de la contrainte et de la déformation. Cercle de contraintes, contraintes principales, cisaillement. III. Effort tranchant et moment de flexion; relation entre eux; diagrammes du moment de flexion et de l'effort tranchant. IV. Contrainte dans les poutres fléchies; répartition des contraintes de cisaillement; contraintes principales; contraintes dans les poutres composées. V. Déformation des poutres fléchies; équation différentielle de la déformée, méthode de superposition, méthode du moment des aires; influence de l'effort tranchant sur la déformation. VI. Problèmes statiquement indéterminés en flexion; liaisons surabondantes, poutres encastrées, portiques, cadres, poutres continues. VII. Poutres de section variable; poutres constituées de deux matériaux; béton armé; contraintes de cisaillement dans les poutres en béton armé. VIII. Flexion et traction ou compression combinées; théorie des colonnes; noyau central; charge critique et contrainte critique; formules empiriques de calcul des colonnes. IX. Torsion, flexion et torsion combinées; torsion d'un arbre circulaire, d'un arbre creux, d'un arbre rectangulaire; ressort hélicoïdal; flexion et torsion combinées dans les arbres circulaires. X. Énergie de déformation; énergie de déformation par traction, cisaillement, torsion, flexion; flexion par choc; expression générale de l'énergie; théorème de Castigliano; application; théorème de réciprocité. En appendice : calculs de détermination des moments d'inertie des figures planes. E. 20575.

B-651. Méthode de répartition algébrique des moments (Méthode de Cross). WILENKO (L. K.); Éd.: Librai. polytech. Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, Paris; 1, quai W. Churchill, Liège, Belg. (1952), 1 vol. (14 × 22 cm), viii + 122 p., 101 fig., 9 réf. bibl., F : 1 100. — Chapitre I : Définitions, notations, tableau des moments d'encastrement pour divers cas de charge, règle des signes des moments fléchissants. Chapitre II : Marche des calculs dans le cas des nœuds indéplaçables avec l'exemple d'une poutre continue sur cinq appuis. Chapitre III : Méthode applicable au cas des nœuds déplaçables. Exemples : calcul d'un cadre à étages multiples avec charges verticales, calcul d'un cadre à étages multiples soumis à la poussée du vent, calcul d'un shed à une travée, calcul d'une poutre Vierendeel à trois travées. Méthode simplifiée de Grinter pour les cadres à étages soumis à des efforts horizontaux (vent);

méthode exacte simplifiée avec application. Chapitre IV : Application de la méthode aux systèmes composés de barres à moment d'inertie variable, application à un poteau de portique supportant un pont roulant avec articulation ou encastrement au sol. Chapitre V : Application de la méthode de Cross au tracé des lignes d'influence avec, comme exemple, un portique. Chapitre VI : Simplification de la méthode dans le cas de la symétrie ou de l'antisymétrie avec exemple d'un pont à béquilles. En annexe : Tableaux numériques et abaques qui permettent de déterminer, pour des poutres à goussets, la rigidité des barres et les moments d'encastrement pour divers cas de charge. E. 20305.

B-652. Préparation mécanique et concentration des minerais par flottation et sur liquueurs denses. HAVRE (H.); Éd.: Librai. polytech. Ch. Béranger, 15, rue des Saints-Pères, Paris; 1, quai W. Churchill, Liège, Belg. (1952), 2^e édit., 1 vol. (16 × 25 cm), vi + 760 p., 335 fig., 3 pl. h. t., 202 réf. bibl., F : 6 500. — Étude théorique de la flottation et de ses diverses modalités : flottation « Skin » sans agitation à la surface de l'eau, sous pression, sur table, par l'huile, avec agitation, chimique, ségrégation, « à sec ». Ateliers de flottation, la préparation mécanique, concassage, broyage; la classification : mécanique, hydraulique et centrifuge; les tamis vibrants, lavage et divers appareils de flottation : à agitation mécanique, à effet pneumatique; enfin épaississement de la pulpe, filtration des concentrés et essorage. Modes de traitement par flottation pour les divers genres de minerais : purs, sulfurés, oxydés, des métaux natifs, des minerais basiques ou acides. Flottation des sels solubles. Disposition des stériles. Opérations de laboratoire, contrôle de fabrication, étude des prix de revient, des incidences de la flottation sur la métallurgie, flottation des minerais et des charbons sur liquides denses et lavage par cyclones ou par spirales. E. 20306.

B-653. Annuaire hydrologique de la France. (Année 1950.) Éd.: Société hydrotechnique de France, 199, rue de Grenelle, Paris (déc. 1951), 1 vol. (18 × 27 cm), 167 p., nombr. fig., F : 2 000. — Exposé synthétique sur les « Caractéristiques hydrologiques de l'année 1950 » par PEGUY. Cet annuaire donne pour soixante-cinq stations : a) tableau des débits journaliers; indication des débits moyens mensuels; b) pour les stations influencées par des réservoirs d'amont : valeurs des débits moyens mensuels corrigés; c) graphique des débits journaliers; d) graphique des débits mensuels d'après leur fréquence; e) totaux mensuels des précipitations sur des postes du bassin versant. De plus, il donne comme renseignements d'ordre général : a) pour dix-huit stations : tableaux et graphiques de comparaison des débits moyens mensuels et des modules annuels avec les valeurs correspondantes de la période 1920-1950; b) graphiques de coefficient de remplissage hebdomadaire de certains réservoirs; c) précipitations mensuelles pour seize postes pluviométriques; d) renseignements sur les températures dans douze postes. E. 20473.

B-654. Colloque international d'acoustique architecturale. (Marseille 11-17 avril 1950.) Éditions de la Revue d'Optique, 165, rue de Sèvres; 3-5, boulevard Pasteur, Paris (1952), 1 vol. (22 × 30,5 cm), 165 p., 183 fig., nombr. réf. bibl. — Recueil des communications au colloque international organisé par le groupement des acousticiens de langue française (G. A. L. F.). F. CANAC : Les travaux de la Commission de Normalisation. Les problèmes résolus et à résoudre. A. C. RAES : L'acoustique architecturale (problèmes psychologiques, d'organisation, juridiques). Règles générales applicables dans les laboratoires et dans la pratique courante, à la mesure de la transmission des sons aériens et des bruits de choc. A. C. RAES : Contribution à l'étude de la réverbération. C. W. KOSTEN : La théorie des pan-

neaux perforés absorbants. M. KOBRYNSKI, A. NEYRON : Principe et appareillage de mesure de transmission acoustique à travers des échantillons de cloisons. P. CHAVASSE, R. LEHMANN : Note sur la définition du bruit complexe à spectre continu. N. FLEMING : Quelques observations sur l'effet de coïncidence dans la transmission du son. G. SACERDOTE, A. GIGLI : L'absorption du son par les systèmes résonnants. P. H. PARKIN, W. E. SCHOLES : Influence de la « pente » de la courbe d'isolement d'une cloison sur la réduction de niveau du discours et de la musique. J. BERNHART : L'acoustique microphonique. Th. KORN : Temps de réverbération apparent dans les salles. F. CANAC, M. BARKECHLI : Recherche de l'emplacement optimum des matériaux absorbants dans une salle. J. BRILLOUIN : Mesures d'impédance de parois perforées. W. L. JORDAN : Quelques remarques de principe sur les sources utilisées dans les mesures de bruit d'impact. A. J. KING : Détermination des propriétés élastiques des matériaux résilients. Th. VOGEL : L'acoustique des espaces clos à parois déformables élastiques. P. LIENARD : Installations sanitaires insonores. P. ARNI : Salles ayant un temps de réverbération réglable dans une large bande de fréquences. M. GRUETZMACHER : Du bruit des roues de chemin de fer. F. LARRIS : Réverbération dans les appartements. F. PUJOLLE, J. BOISARD : Mesure des temps de réverbération des studios de la Radiodiffusion Française. A. DE ROSEN : État actuel de la technique d'insonorisation des bancs d'essais de moteurs d'aviation. F. CANAC, V. GAVREAU : Utilisation des ultrasons pour l'étude sur maquettes des qualités acoustiques d'une salle. P. LIENARD : La protection contre les bruits et vibrations dans les locaux particulièrement bruyants : souffleries et bancs d'essais. F. INGERSLEV : Sur la technique des mesures de bruit d'impact dans les bâtiments. P. BARON : La transmission des vibrations par les fondations. Application au cas des transformateurs de puissance. J. GRUNENWALDT : Le conditionnement acoustique du nouveau bâtiment des chèques postaux de Bruxelles. O. BRANDT : Nouvelles exigences suédoises pour l'isolement sonore. A. MOLES : Méthodes d'essais acoustiques normalisés pour un immeuble insonore. M. NUOVO : Méthode de mesure de coefficients d'absorption acoustique. R. HALLER : Proposition pour l'évaluation de l'indice d'affaiblissement des bruits d'impact. E. 20719.

B-655. Colles et contreplaqués. LIRON (R.); Éditions de la Revue du Bois, 40, rue du Colisée, Paris (déc. 1950), 1 vol. (16 × 24 cm), 118 p., 88 fig. — Fabrication du contreplaqué. 1^{re} partie : Étude des différentes colles, colle animale, colles aux caséines, colles à l'albumine, colles aux résines synthétiques. 2^e partie : Préparation des bois, tronçonnage, étuvage, déroulage, défauts des placages déroulés, tranchage, séchage, placage; composition et assemblage des panneaux, leur préparation avant collage. 3^e partie : Fabrication du contreplaqué, préparation des colles, encollage, presses pour collage à froid ou à chaud, opérations de sciage, raclage, ponçage, vérification, stockage. 4^e partie : Fabrications spéciales : panneaux lattés et lamellés, panneaux à revêtements métalliques, panneaux contreplaqués cintrés, fonds de sièges, banquettes, dossiers, fûts. 5^e partie : Essais en usine ou en laboratoire : essais physiques, essais mécaniques. E. 20180.

B-656. La mesure du travail en France. FRANCK (P.); Éd.: Association interprofessionnelle pour l'étude et la Simplification du Travail (Bureau des Temps élémentaires), 8, rue Alfred-de-Vigny, Paris, 1 vol. (23,5 × 27 cm), 54 p. + 28 p. d'annexes (Texte du rapport fait au IX^e Congrès international de l'Organisation scientifique, Bruxelles, juillet 1951). — État de la mesure du travail en France, méthodes et enseignement, études à poursuivre. 1^{re} partie : Organismes qui étu-

dient en France la mesure du travail et ceux qui l'enseignent; développement de cette mesure dans les entreprises. 2^e partie : Objectifs de la mesure du travail et ses méthodes, chronométrage, sa méthode et ses moyens de mesure; documents préétablis, notions de temps élémentaires et des barèmes de temps, terminologie, résultats concernant le calcul des temps et leur répercussion sur le climat et le rendement de l'entreprise. 3^e partie : Enseignement de la mesure du travail; on indique à qui est donné l'enseignement, par qui et comment il est donné. 4^e partie : Études à poursuivre en ce qui concerne la coordination de la terminologie, échelles de jugement d'allure et des standards, recherches sur les divers facteurs qui influent sur le travail, films d'enseignement et barèmes. 5^e partie : Résumé du rapport et conclusion. Annexes : Tableaux de renseignements sur les coefficients de monotonie musculaire, les coefficients de température, les coefficients de position, les définitions adoptées, le choix d'une allure de référence; étude de temps, etc. E. 20181.

B-657. Répertoire de films techniques, industriels, scientifiques, documentaires. Éd. : Fédération nationale des Syndicats d'Ingénieurs et de Cadres supérieurs, 30, rue de Gramont, Paris (1952), 1 vol. (21 × 28 cm), 195 p., F : 700. — Mille cinq cents titres avec analyses sommaires. Indication d'organismes prêteurs, à titre gratuit ou onéreux, des films (formats 35 et 16 mm). Le répertoire énumère notamment environ cinquante films relatifs au bâtiment : barrages, ponts, centrales, chemins de fer, maisons, matériaux. E. 20641.

B-658. L'urbanisme et l'habitat outre-mer. Éd. : Marchés coloniaux du Monde, 190, boulevard Haussmann, Paris (23 fév. 1952), numéro spécial 328, 1 vol. (24 × 31,5 cm), 220 p., nombr. fig., F : 750. — P.-L. AUJOULAT : Une politique de l'habitat outre-mer. J. DE GUERCHY : L'habitat traditionnel dans la France d'outre-mer (revue des procédés de construction de cases dans les diverses contrées). J.-M. CALSAT : La place de l'habitat dans le cadre du progrès technique et du développement économique et social des T. O. M. M. WEILL : L'évolution de l'habitat européen en Afrique noire. M. BLANC : Le rôle du Bureau central d'Études pour les Équipements d'outre-mer en matière d'habitat tropical. R. DE MONTVALON : L'habitat urbain autochtone en Afrique noire (points de vue de l'ethnologue, du géographe, de l'architecte urbaniste, de l'économiste et orientations en forme de conclusion). J. M. CARRET : Le problème de l'habitat africain. P. CHAULEUR : Une enquête sur l'urbanisme et la construction outre-mer. (Recommandations de la conférence de Caracas, programme de la commission Alaurant, réalisations du plan, mesures à préconiser.) Réalisations et projets en matière d'urbanisme et d'habitat dans la France d'outre-mer, (importante étude portant sur quatorze régions d'outre-mer). S. CRESPI : Le climat, l'homme et sa maison (éléments destinés à faciliter les études de construction outre-mer). R. LEROUX : Technique rationnelle de l'habitat humain en régions très chaudes. O. P. DE BAZELAIRE DE RUPPIERRE : Le problème des toitures en pays tropical. P. ALLOUARD : La construction en bois en pays tropical. A. ABDON : Les installations sanitaires et le traitement des matières excrémentielles sous les climats intertropicaux. E. 20717.

B-659. Le soudage aux U. S. A. (Rapport préliminaire de la Mission technique française « Soudage », 10 octobre-21 novembre 1951.) Éd. : Soudure Autogène, 39, rue d'Amsterdam, Paris, 1 broch. (21,5 × 27,5 cm), 76 p., 7 fig. — But, composition, programme, visites préfabriques de la Mission; travail effectué aux États-Unis. Aperçu sur les conditions de la production dans l'industrie aux États-Unis, sur le développement du soudage, sur les organismes pro-

fessionnels; recherches, documentation, normalisation, cahiers des charges, enseignement. Matériels et produits d'apport pour le soudage et techniques connexes; soudage à l'arc avec électrodes enrobées, soudage sous flux, en atmosphère inerte, à l'hydrogène atomique, soudage des goujons, soudage par résistance et aux gaz, oxycoupage, découpage et écoupage, gougeage, décapage, lavage à l'oxygène, trempe superficielle, métallisation, etc. Soudage dans l'industrie (conceptions des constructions, approvisionnement et stockage, installation et organisation des ateliers, méthodes, conditions d'emploi des divers procédés, hygiène et sécurité, contrôle, prix de revient); particularités relatives à certaines industries (automobile, construction navale, matériel ferroviaire, chaudières et récipients, machines, charpente métallique). Conclusions générales. E. 20640.

B-660. L'escalier, le limon, la rampe par le balancement hélicoïdal. CHAVAN (A.); 5, rue Frédéric-Amiel, Genève, Suisse (1952), 1 broch. (19 × 24 cm), 4 pl. — L'analyse de l'édition 1950 est perdue sous le n° B 426 dans le fascicule de Documentation Technique n° 46. L'édition 1952 comporte quatre planches complémentaires visant l'application du balancement hélicoïdal au tracé du limon et de la rampe dans divers cas de composition décorative. E. 20262.

B-661. Isolation contre les vibrations et les chocs (Vibration and shock isolation). CREDE (Ch. E.); Éd. : John Wiley and Sons, Inc., 440 Fourth Avenue, New-York 16, U. S. A. (1951), 1 vol. (15 × 23,5 cm), xvii + 328 p., nombr. fig., nombr. réf. bibl., \$ 6.50. — Théorie de la représentation vectorielle des sinusoides et rappel des principes relatifs aux moments d'inertie, des propriétés des « corps durs » et des propriétés des isolants. Isolation aux vibrations des systèmes à un seul et à plusieurs degrés de liberté, fréquences propres des corps soumis aux vibrations. Isolation aux chocs : vitesse de choc, choc non élastique, efficacité des isolants, comportement de ceux-ci, différentes sortes d'isolants. Considérations sur l'isolation aux vibrations et aux chocs; étude des propriétés des matériaux d'isolation : caoutchouc, ressorts métalliques, feutre, liège, caoutchouc-mousse. Calcul des dispositifs isolants. Applications des isolateurs dans tous les domaines. E. 20499.

B-662. Lexique illustré des ingénieurs (Engineers' illustrated thesaurus). HERKIMER (H.); Éd. : Chemical Publishing Co., Inc., 212 Fifth Avenue, New-York, U. S. A. (1952), xvi + 572 p., nombr. fig. — Le texte indique, pour chaque figure, l'objet représenté et en donne, pour certains, la description succincte du fonctionnement. Les appareils sont classés sous les rubriques suivantes : Dispositifs de fixation. Dispositifs d'assemblages divers, bâtis. Constructions : poutres, ponts; paliers et crapaudines, roulements à billes, maçonnerie et béton. Réalisation mécanique des mouvements; machines simples; éléments de machines; mouffes et palans; engrenages, embrayages; mécanismes d'horlogerie; transmissions; câbles; courroies; freins ressorts. Appareils de levage : grues, ponts et portiques roulants, derricks, transporteurs; câbles et nœuds; alimentateurs de charbon, coke, etc., élévateurs. Vérins. Équilibrage. Pompes, soupapes, garnitures de presse étoupes, ventilateurs, graissage, buses d'injection, chaudières et accessoires, foyers, machines à vapeur, turbines, propulsion par réaction, moteurs Diesel, appareils hydrauliques et éoliens, énergie des marées, véhicules et rones, bateaux à voiles, hélices. Appareils de pesage et de mesures diverses. Concasseurs, tamis, mélangeurs. Forge, presses. Percage et forage. Outils de coupe. Machines agricoles, installations sanitaires; électricité statique, magnétisme; électro-aimants; applications de l'électricité; éclairage, chauffage, électronique, radio, interrupteurs et relais; radar, soudage

sonore. Chauffage central; conditionnement d'air; réfrigération. E. 20110.

B-663. Guide des principales prescriptions concernant la sécurité dans les usines, 1937 et 1948 (A guide to the principal safety requirements of the factories acts 1937 and 1948). Éd. : The Royal Society for the Prevention of Accidents, Terminal House, 52 Grosvenor Gardens, Londres SW.1, G.-B. (oct. 1951), 2^e édit., 1 vol. (16 × 25,5 cm), 90 p., 15 s. — Ce manuel est un résumé des principales prescriptions édictées par les règlements de sécurité dans les usines, publiés en 1937 et 1948. Il concerne la sécurité des accès et des lieux de travail, des bâtiments et de leurs différentes parties constitutives, des engins de levage, grues, treuils et monte-charges, des installations mécaniques, des chaudières à vapeur, des appareils récepteurs de vapeur et réservoirs de vapeur, des appareils à air comprimé, des récipients contenant des liquides dangereux, des poussières et fumées; les dangers d'incendie et d'explosion la protection des ouvriers, plus spécialement des femmes et des enfants. E. 20198.

B-664. Hydraulique générale et appliquée. Lexique anglais-français. BOUCHER (R.); Éd. : École polytechnique, 1430, rue Saint-Denis, Montréal, Canada (1950), 2^e édit., 1 vol. (22,5 × 29 cm), 52 p., 8 réf. bibl. — Lexique établi selon l'ordre alphabétique des mots anglais. Ce n'est pas un ouvrage commercial. Il donne l'équivalent français d'un grand nombre de mots anglais concernant directement ou indirectement l'hydraulique, les constructions hydrauliques (barrages, usines génératrices et leur matériel, canaux, pompes, travaux maritimes, cours d'eau, etc.). Au total, environ mille cinq cents mots spécialisés. E. 20577.

B-665. Une maison de série préfabriquée (Ein vorfabriziertes Serienhaus). NOTHELFER (K.); Éd. : Otto Maier, Ravensburg, All. 1 vol. (20 × 28 cm), 48 p., 65 fig., DM : 5 (texte en allemand, en français, en anglais). — Description détaillée d'une maison préfabriquée en bois, d'une surface de 64 m² qui comporte une cave avec : lavoir, réserve à charbon et à provisions, un rez-de-chaussée avec vestibule, W.-C., salle commune, cabinet de travail, chambre de repos et cuisine, un étage avec : chambre à coucher, une pièce à un lit, une chambre à deux lits, une salle de bains. Grand emploi de panneaux constitués de rognures, déchets, sciure et copeaux de bois. La construction est préparée par panneaux et peut se monter sans engin de levage en une semaine. E. 20195.

B-666. L'anhydrite (Anhydrit). Fortschritte-Forschungen Bauwesen, All., Franckh'sche Verlagshandlung, Pfizerstrasse 5-7, Stuttgart-O, All. (1952), 1 vol. (21 × 30 cm), Série D, n° 4, 60 p., 57 fig., 22 réf. bibl., DM : 15. — M. FRANK : Provenance de l'anhydrite. Calcaire conchylien moyen et trias supérieur à gypse. K. WALZ : Propriétés des liants à base d'anhydrite utilisés dans le bâtiment. Généralités. Composition des roches à anhydrite et influence de la finesse de mouture sur la résistance. Action des stimulants sur la prise et la résistance. Influence de la teneur en eau, du volume des pores, du traitement final et de l'âge sur la résistance et les changements de volume. Comportement de l'anhydrite à l'air libre. Influence des basses températures. Emploi comme liant pour le mortier et le béton. Conclusion. W. PICKEL : Essais effectués sur l'anhydrite. Stimulants, finesse de mouture, appoint d'eau, etc. Essais récents. E. 20382.

B-667. Extension de l'emploi des pierres de grès calcaire (Entwicklung der Kalksandsteine). HUMMEL (A.); Humidité dans les murs extérieurs (Feuchtigkeit in Aussenwänden). SCHÜLE (W.), CAMMERER (J. S.), GÖRLING (P.); Fortschritte-Forschungen Bauwesen, All., Franckh'sche Verlagshandlung, Pfizerstrasse 5-7, Stuttgart-O,

All. (1952), 1 vol. (21 × 30 cm), série D, n° 3, 79 p., 68 fig., 30 réf. bibl. — Propriétés, densité, résistance des pierres de grès calcaire. Complément d'essais précédents, porosité. Granulométrie des sables utilisés; caractéristiques des pierres et essais rapportés au poids spécifique à sec. Conclusions relatives aux résultats d'essais connus à ce jour. Humidité des maçonneries, sa détermination dans les immeubles habités, humidité moyenne, fréquence des teneurs en eau, influence de l'orientation des murs et de la manière dont les locaux sont occupés. Séchage. Répartition de l'humidité dans les murs. Eau de pluie et de condensation. Humidité en fonction de la climatisation. Perméabilité à la vapeur d'eau des matériaux de construction et d'isolation. État actuel des recherches. Mesure de la diffusion de la vapeur d'eau à travers les matériaux. Procédés de mesure. Résultats des essais. Cas pratiques. E. 20383.

B-668. Le béton de décombres. Contribution apportée à son étude (Schüttbeton. Versuchsergebnisse und Erfahrungen). *Fortschritte-Forschungen Bauwesen*, All., Franckh'sche Verlagshandlung, Pfäfersstrasse 5-7, Stuttgart-O, All. (1951), 1 vol. (21 × 30 cm), Série C, n° 2, 64 p., 104 fig., réf. bibl. — O. GRAF : Introduction. O. GRAF, K. WALZ : Essais des propriétés principales du béton de décombres. Influence de la constitution granulométrique, des vides et de la forme des grains, des propriétés et de la proportion du ciment; résistance, dilatation, propriétés isolantes contre la chaleur et contre le son. E. RAUSCH : Construction des murs en béton léger dans l'habitation. O. BUTTER, R. GRAF : Disposition et organisation des chantiers. R. SCHOENROCK : Coffrages pour béton de décombres. J. BRANDT : Mise à l'épreuve de la construction en béton de décombres à Hambourg. O. GRAF : Conclusions et remarques et propositions pour une nouvelle rédaction des Normes DIN 4 232. E. 20381.

B-669. L'isolation phonique (Schallschutz). BRANDT (H.), CREMER (L.), GÖSELE (K.), KRISTEN (Th.); *Fortschritte-Forschungen Bauwesen*, All., Franckh'sche Verlagshandlung, Pfäfersstrasse 5-7, Stuttgart-O, All. (1952), 1 vol. (21 × 30 cm), Série D, n° 2, 136 p., 105 fig., 4 pl. h. t., 52 réf. bibl. — Recherches techniques sur la transmission du son par les murs et les planchers. Mesure de l'isolation phonique dans les murs; dispositifs et résultats des essais dans des murs de diverses épaisseurs en différents matériaux. Comparaison des résultats et leurs conséquences; comparaison avec les Normes DIN 4110. Influence de l'enduit et de l'humidité. Murs simples et doubles. Mesure de l'isolation des sons transmis par vibration de l'air ou des planchers. Isolation phonique des planchers et des murs. Principes. Influence du mode de construction des habitations. Isolation des murs, des planchers massifs, des planchers sur poutres en bois. Conséquences pratiques. Calcul approché de l'amélioration due à un revêtement non adhérent. Production des sons par chocs. Influence d'un revêtement élastique. E. 20384.

B-670. Comptes rendus de l'Assemblée générale de l'Association allemande du Béton à Wiesbaden, 11 et 12 avril 1951 [Hauptversammlung am 11. und 12. April 1951 in Wiesbaden. Vorträge. *Deutscher Beton-Verein* (E. V.), Ed.: Deutscher Beton-Verein (E. V.), Prinz-Nikolas Strasse 12, Wiesbaden-Eigenheim, All., 1 vol. (15 × 21,5 cm), 371 p., 46 fig., réf. bibl. — (Ces comptes rendus ne sont pas dans le commerce.) Principaux sujets techniques : Pont en béton précontraint sur le canal du Neckar à Heilbronn. Détermination de la résistance du béton. Centrale de Neußetting sur l'Inn. Constructions en Suède. Usines hydrauliques d'après guerre de la Société Adriatique d'Electricité. Béton précontraint avec

l'acier St 90. Traverses en béton précontraint. Installations hydrauliques de la Société Rhin-Main-Danube. Béton précontraint par câbles. Application de l'optique aux surfaces portantes. Modes de constructions pour habitations. E. 20498.

B-671. Poutres continues, portiques et dalles armées dans deux directions rectangulaires (Durchlaufträger, Rahmen und kreuzweise bewehrte Platten). HAHN (J.); Ed.: Werner, Dusseldorf-Lohausen, All. (1951), 1 vol. (18,5 × 25,5 cm), 92 p., 78 fig., DM : 10. — Calcul des poutres continues par le procédé des coefficients de moments « m » : poutre à trois travées; explication du procédé; détermination des valeurs de « m »; poutres à trois travées avec encastrement aux extrémités; coefficients de répartition des charges; efforts dus à la température, à la dénivellation des appuis; exemples. Poutres à plus de trois travées. Moments de champ : coefficients de charges et de moments. Calcul des poutres continues. Calcul des lignes d'influence. Portiques continus. Portiques à étages : symétriques à deux montants et à charge symétrique, ou dissymétriques avec charges symétriques, ou à trois montants. Calcul des plaques armées en croix : plaques supportant une charge uniformément répartie; plaques sur une seule travée, plaques continues. Plaques supportant des charges spéciales : charges concentrées sur une plaque reposant librement sur son pourtour; charges réparties en bandes. E. 20197.

B-672. Installations de barrages et de retenue d'eau (Wehr- und Stauanlagen). DEHNERT (H.); Ed.: Walter de Gruyter und Co, Genthiner Strasse 13, Berlin W 35, All. (1952), 1 broch. (10,5 × 16 cm), 134 p., 90 fig., 24 réf. bibl., DM : 2.40. — Généralités sur les installations de barrages et de retenue d'eau. But des installations de retenue d'eau. Le fleuve et le barrage. Classification des barrages. Principes des projets de barrages, position et hauteur. Construction, matériaux et mode de fonctionnement. Calcul de l'efficacité. Principes résultant de l'hydraulique. Courbe de retenue, ligne d'écoulement. Barrage-déversoir. Barrage de fond. Écoulement de fond. Barrages parallèles au courant. Ponts et piles de barrages. Constitution des barrages fixes. Barrages perméables. Barrages massifs. Barrages à siphon. Construction et service des barrages mobiles. Barrages à aiguille. Barrages à vannes. Barrages à tambours, à clapets, à secteurs. Exécution des fondations d'un barrage; généralités; piles et raccordements aux rives; constitution du lit de chute et affouillements. Installations annexes des barrages. Prises d'eau; décharges de fond. Échelles à poissons. E. 20196.

B-673. Mécanique des corps solides (Mechanik der Festkörper). LOHR (E.); Ed.: Walter de Gruyter und Co, Genthiner Strasse 13, Berlin W 35, All. (1952), 1 vol. (18 × 24,5 cm), VIII + 483 p., 73 fig., réf. bibl., DM : 39.60. — L'introduction traite de la position de la physique dans le domaine scientifique, des sources de connaissance et des méthodes d'investigation de la physique, de l'espace et du temps et des principes de leur mesure. Le corps de l'ouvrage est divisé en deux parties suivant le plan suivant : I. Mécanique générale et mécanique des corps rigides : espace, temps, mouvements; vecteurs, vitesses, accélérations, principes et équations fondamentales de la dynamique; champ de gravitation : notions et équations complémentaires. Mécanique et équilibre des corps rigides avec et sans frottement. Principes de la dynamique. Cas particuliers importants. Mouvement relatif. II. Mécanique des corps solides déformables. Principes, équations fondamentales et théorèmes généraux de la mécanique élastique : applications, élasticité,

plasticité et résistance; oscillations élastiques avec un ou plusieurs degrés de liberté. Amortissement, ondes dépendant d'une coordonnée spatiale. Oscillations élastiques et ondes à deux et trois dimensions. Phénomènes de choc. E. 20556.

B-674. Les matériaux de construction (Bausstofflehre). SIEDLER (Ed. J.); Ed.: Verlag des Druckhauses Tempelhof, Mariendorfer Damm 1/3, Berlin-Tempelhof, All. (1951), 2^e éd., 1 vol. (22 × 30,5 cm), 240 p., 530 fig., 15 réf. bibl., DM : 32. — Généralités sur les roches; roches utilisées pour les pierres naturelles à bâtir. Pierres et terres pour la fabrication des pierres artificielles et des matériaux de construction minéraux. Liants : chaux et ciment; mortiers de chaux et de ciment; liants anhydres; cendres de lignite; pouzzolanes. Béton, béton lourd, béton léger. Pierres naturelles, maçonneries en pierres naturelles. Briques d'argile séchée et maçonneries d'argile séchée. Briques cuites, maçonneries de briques cuites. Pièces de forme pressées et maçonneries qu'elles réalisent. Plâtre, magnésie, asphalte, matériaux réfractaires, Enduits. Acier et fer. Béton armé. Métaux non ferreux. Bois : bois améliorés, matériaux dérivés du bois. Autres matériaux de construction d'origine organique. Cartons et bandes d'étanchéité. Revêtements des sols et des murs. Verre. Peinture. Matériaux isolants. Résistance des matériaux et des éléments de construction au feu et à la chaleur. Matériaux artificiels. E. 20285.

B-675. Principes du calcul tensoriel en représentation analytique. I. Algèbre tensorielle (Grundzüge der Tensorrechnung in analytischer Darstellung. I. Tensoralgebra). DUSCHKE (A.), HOCHRAINER (A.); Ed.: Springer, Mölkerbastei 5, Vienne I, Autr. (1948), 2^e éd., 1 vol. (14 × 21 cm), VI + 129 p., 26 fig., \$: 2.10. — Objet du calcul tensoriel. Le point, la droite, le vecteur. Addition de vecteurs; produit d'un vecteur et d'un nombre. Dépendance linéaire des vecteurs. Longueur d'un vecteur. Produit scalaire de deux vecteurs. Exemples tirés de la géométrie; problèmes. Fonctions linéaires des vecteurs : tenseurs. Transformation orthogonale et groupes de mouvements. Les tenseurs et les plus simples opérations tensorielles. Décomposition d'un vecteur suivant trois axes. Tenseurs du deuxième genre. Tenseurs symétriques du deuxième genre. Surfaces du deuxième degré. E. 20189.

B-676. Principes du calcul tensoriel en représentation analytique. II. Analyse tensorielle (Grundzüge der Tensorrechnung in analytischer Darstellung. II. Tensoranalysis). DUSCHKE (A.), HOCHRAINER (A.); Ed.: Springer, Mölkerbastei 5, Vienne I, Autr. (1950), 1 vol. (14 × 21 cm), VII + 338 p., 90 fig., \$: 6. — Vecteurs variables et courbes dans l'espace. Système des trois axes mobiles, formules de Frenet. Courbure et enroulement. Équations naturelles d'une courbe. Courbes dans l'espace; surfaces tangentes et enveloppes ou « torsos ». Première forme fondamentale de la théorie des surfaces. Mesure des longueurs, des angles, des superficies sur une surface. Deuxième forme de base de la théorie des surfaces : courbure d'une surface. Champs de tenseurs, leur représentation. Intégration des champs : intégrale curviligne. Intégrale de surfaces : loi de Stokes. Intégrales de l'espace; lois de Gauss et de Green. Champ de Laplace; champ de Poisson; champ avec turbulence. Propriétés géométriques des champs vectoriels. Champ plan n° 1; champ plan n° 2. Coordonnées curvilignes. Vecteurs et tenseurs dans l'espace en général. Espace de Riemann. Tenseur de courbure de Riemann. Application de la théorie des surfaces. Coordonnées spéciales. Solution des problèmes de la première partie, de la deuxième partie. E. 20190.

RÉSUMÉS (SEPTEMBRE 1952)

SUMMARIES (SEPTEMBER 1952)

Fid pi' ffb lal

Hangars d'aviation.

Le hangar en béton armé à deux nefs de 101,50 m de portée de l'aéroport de Marignane. ESQUILLAN (N.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (septembre 1952), n° 57 [Béton. Béton armé (XX)], 68 p., 136 fig.

Les hangars de Marignane en béton armé comprennent : deux nefs qui dérogent chacune une surface libre de 100 × 60 m, une entre-cellule de 18,70 m de largeur, des appentis sur trois côtés. L'ensemble couvre une superficie de 20 000 m².

La couverture des cellules par son envergure, par sa conception et par son mode de réalisation constitue leur originalité essentielle dont les deux caractéristiques principales sont :

— Un record de portée (101,50 m) pour les voûtes minces en béton armé sous-tendues par des tirants.

— Une extrapolation de préfabrication et de construction au sol avec levage par des moyens mécaniques.

L'élément porteur et courant de la toiture est une onde en béton armé de section transversale formée par un voile de 6 cm d'épaisseur en arc de cercle de 9,80 m de corde et 2,20 de flèche. Cette onde, raidie par des tympans transversaux, franchit 101,50 m avec une flèche de 12,10 m et comporte aux extrémités des retombées de forme spéciale permettant de concentrer les forces à l'appui poteau-tirant. Les tirants sont en acier à haute limite de rupture enrobé après mise en tension.

La couverture de chacune des nefs a été exécutée au sol puis levée à une hauteur de 19 m. Chacun des ensembles levés couvrait hors-tout 6 400 m² et pesait 4 200 t. L'élévation s'est effectuée par des moyens de chantier, dont une batterie de 16 vérins hydrauliques de 300 t et 2 vérins de 100 t à raison de 1,06 m par journée de levage. Différents dispositifs simples permettaient de conduire l'opération avec une sécurité totale.

CDU 629.139.2 : 725.39.

Fid pi' ffb lal

Aircraft Sheds.

The reinforced concrete hangar of two 101,50 m spans at Marignane airport. ESQUILLAN (N.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (septembre 1952), n° 57 [Concrete. Reinforced concrete (XX)], 68 p., 136 fig.

The reinforced concrete hangars at Marignane include : two bays of 100 × 60 m clear area each, a space between them 18,70 m wide and lean-tos on three sides. The whole covers an area of 20,000 sq. m.

The covering of the bays by its scope, conception and method of construction constitutes their basic originality. The two main characteristics are :

— A record span (101,50 m) for reinforced concrete shells subtended by ties.

— Prefabrication and assembling on the ground followed by hoisting through entirely mechanical equipment.

The bearing and general element of the roofing is a reinforced concrete corrugated shell the transverse section of which is formed by an envelope 6 cm thick in the form of an arc of circle of 9,80 m chord and 2,20 m rise. This corrugated shell stiffened by transverse spandrels spans 101,50 m with a 12,10 m rise and has at its ends specially shaped springings which concentrate the forces at the combination post-tie support. The ties are of high-strength steel encased after pretension.

The roofing of each of the bays was constructed on the ground and then hoisted 19 m high. Each of the hoisted assemblies covered 6 400 sq. m. overall and weighed 4 200 tons. Lifting was done by means of worksite equipment among which were a battery of sixteen 300 ton hydraulic jacks and two 100 ton jacks, at a hoisting rate of 1,06 m per day. Various simple devices enabled the operation to be conducted in complete safety.

UDC 629.139.2 : 725.39.

Dic lal ras d Chauffage par rayonnement.

Théorie et pratique du chauffage par rayonnement : L'expérience américaine. NAPIER-ADLAM (T.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (septembre 1952), n° 57 [Équipement Technique (XXVII)], 10 p., 11 fig.

L'auteur montre les difficultés de comparaison des données théoriques et des résultats pratiques, examine un certain nombre de points particuliers. Il montre comment peuvent être réalisés des plafonds chauffants à tubes enrobés moins coûteux que ceux qui sont construits couramment en Angleterre, et aussi satisfaisants; il discute à ce propos la mise en œuvre des enduits. Il insiste ensuite sur la purge d'air des circuits, sur les précautions à prendre et sur les purgeurs. Il montre que certains procédés de mise en œuvre des sols chauffants ne peuvent être retenus comme valables et montre quelles dispositions on peut recommander, avec couche isolante intérieure en général. Il signale quelques cas de corrosion avec fibraglos et montre comment les éviter; de même pour les ruptures dues à la dilatation des tubes. Insistant sur la difficulté de calculer les déperditions, il examine dans quelle proportion le chauffage par rayonnement peut réduire les dépenses en combustible, en insistant sur les pertes de chaleur par les vitrages. La conclusion montre l'importance de la qualité de réalisation.

CDU 697.353.

Dic lal ras d Chauffage par rayonnement.

État actuel de la technique allemande en chauffage par rayonnement. KOLLMAR (A.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (septembre 1952), n° 57 [Équipement Technique (XXVII)], 7 p., 13 fig.

Après avoir examiné les données physiologiques de base justifiant le chauffage par rayonnement (qui permet des températures d'air plus basses, et protège mieux contre les parois froides), l'auteur étudie l'inertie calorifique des différents systèmes de chauffage, l'importance des facteurs de forme et des coefficients de rayonnement (à ce dernier propos, l'auteur résume les études qu'il a faites à ce sujet), les méthodes de calcul pratique des installations (émission normale des panneaux et émission marginale).

CDU 697.353.

Dic lal ras d

Radiant heating.

Theory and practice of radiant heating : the American experience. NAPIER-ADLAM (T.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (septembre 1952), n° 57 [Technical Equipment (XXVII)], 10 p., 11 fig.

The author shows the difficulties in comparing the theoretical data and the practical results and examines a certain number of specific points. He shows how heating ceilings with embedded tubes may be built at less cost and as satisfactorily as those being currently constructed in England. In this connection he discusses the placing of coatings. Then, he insists on air venting, on the precautions to be taken and on air extractors themselves. He shows that certain methods of heating floor installation can not be considered as valid, and shows which arrangements are to be recommended (with a lower insulating layer, in general). He points out some cases of corrosion with fiberboards and shows how to avoid them; the same for rupture due to tube expansion. Stressing the difficulty of loss calculations, he shows to what extent radiant heating can reduce fuel expense, stressing the heat loss through the windows. The conclusion shows the importance of the quality of the work.

UDC 697.353.

Dic lal ras d

Radiant heating.

Present state of the German radiant heating technique. KOLLMAR (A.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (septembre 1952), n° 57 [Technical Equipment (XXVII)], 7 p., 13 fig.

After examining the basic physiological data justifying radiant heating (which allows lower air temperatures and offers better protection against cold walls), the author studies the calorific inertia of the different heating systems, the importance of form factors and radiation coefficients (in reference to the last, the author summarizes the studies made by him on this subject), the practical calculating methods for installation (normal and marginal panel emissions).

UDC 697.353.

Dic 1al ras d Chauffage par rayonnement.

État actuel de la technique italienne en chauffage par rayonnement. GINI (A.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (septembre 1952), n° 57 [Équipement Technique (XXVII)], 7 p., 1 fig.

Débutant par un exposé historique, l'auteur examine la réduction des déperditions que l'on peut obtenir en chauffage par rayonnement et donne les règles qu'il applique couramment, le rôle le plus important étant joué par la répartition verticale des températures, et par la calorification des panneaux. Les techniciens italiens utilisent la notion de température résultante sèche et n'accordent d'importance aux températures de sol que dans les locaux de luxe. Ils déterminent, semi-expérimentalement, la transmission de chaleur dans les panneaux en se ramenant par le calcul à un cas simple.

L'auteur examine ensuite quelques questions de détail : dispositif de sûreté (par mélange des eaux de retour), rafraichissement par panneaux, combinaison avec le conditionnement d'air, installations économiques, inertie et régulation automatique, corrosion, problèmes statiques dans les dalles en béton armé, systèmes particuliers (à libre dilatation, à panneaux suspendus).

CDU 697.353.

Dic 1al ras d Chauffage par rayonnement.

État actuel de la technique française en chauffage par rayonnement des locaux industriels. CADIÉREUX (R.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (septembre 1952), n° 57 [Équipement Technique (XXVII)], 16 p., 8 fig.

L'auteur délimite les questions dont il s'occupera, fait un bref historique, et s'attache à montrer comment et dans quelles proportions le chauffage par rayonnement peut conduire à des économies de combustible (protection des émetteurs, convection réduite, distribution verticale et horizontale des températures d'air plus uniforme, réglage, difficultés de conduite). Grâce aux développements récents (sols chauffants, avec éventuellement dispositifs divers, plafonds à armatures chanfreinées, plafonds suspendus), le chauffage par rayonnement peut avoir des prix d'installation qui concurrencent les systèmes classiques; cela est encore plus net lorsque les panneaux peuvent être utilisés en rafraichissement, combinés ou non avec le conditionnement d'air.

Abordant ensuite les problèmes physiologiques, l'auteur montre comment et pourquoi le chauffage par rayonnement est plus agréable et plus « stimulant », quelles limites il faut assigner aux températures de sol et de plafond, pourquoi il y a moins de poussières et de microbes. Une dernière partie, consacrée aux panneaux en maçonnerie, examine les différents problèmes soulevés par l'enrobage (dilatations, assurance des bétons, armatures chanfreinées).

CDU 697.353 : 725.4.

Deb 1ei **Stabilisation des sols.**

Nouvelles recherches en matière de stabilisation des sols. WINTERKORN (H. F.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (septembre 1952), n° 57 [Sols et Fondations (IX)], 10 p., 4 fig.

La stabilisation d'un sol tend à le rendre carrossable, à l'imperméabiliser, ou à lui conférer une résistance durable à l'érosion. Elle s'applique aux routes, pistes d'envol, barrages, talus, etc.

Les méthodes de stabilisation varient avec la composition granulométrique et chimique du sol à stabiliser. Suivant les cas on emploie : le compactage, le béton d'argile, le sol ciment, le sol bitume, les stabilisations aux résines naturelles ou synthétiques, à la colle, à la chaux, par les cendres volantes, la stabilisation thermique ou électrique.

Parmi ces procédés, l'emploi du bitume et des résines synthétiques, en particulier des mélanges aniline-furfural, semblent les plus économiques et les plus pratiques.

La stabilisation est utile dans tous les cas où le sol le permet et où l'apport et la mise en place de matériaux durs serait trop onéreux et trop longs. Elle fournit une solution particulièrement intéressante au problème militaire de l'aménagement rapide de pistes carrossables sur les plages de débarquement.

CDU 624.138.

Dic 1al ras d Radiant heating.

The present state of the Italian technique of radiant heating. GINI (A.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (septembre 1952), n° 57 [Technical Equipment (XXVII)], 7 p., 1 fig.

Starting with a historical survey, the author examines the reduction of losses through the use of radiant heating and gives the rules currently applied, the most important role being played by the vertical distribution of the temperatures and by panel heat insulation. The Italian technicians use the concept of the resulting dry temperature and do not attach any importance to floor temperatures in other than luxury premises. They determine the panel heat transmission semi-experimentally, calculating by reducing it to a simple case.

Then the author examines some questions of detail : safety devices (by mixing recirculated water), panel cooling, combination with air conditioning, economic installation, inertia and automatic regulation, corrosion, static problems of reinforced concrete slabs, specific system (freely-expanding, suspended panels).

UDC 697.353.

Dic 1al ras d Radiant heating.

Present state of french technique of radiant heating in industrial buildings. CADIÉREUX (R.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (septembre 1952), n° 57 [Technical Equipment (XXVII)], 16 p., 8 fig.

The author defines the problems which he is to discuss, makes a historical review and proceeds to show how and to what extent radiant heating is conducive to fuel economy (protection of radiators, reduced convection, more uniform horizontal and vertical distribution of air temperatures, regulation, control difficulties). Thanks to recent developments (floor heating, with various possible heating devices, ceilings with heating coils, suspended ceilings) radiant heating may be installed at prices competitive with traditional systems. This is even more true when the panels can be also used for cooling, whether in combination or not with air conditioning.

Passing on to physiological problems, the author shows how and why radiant heating is more agreeable and more stimulating, what limits should be set to floor and ceiling temperatures, why there is less dust and less microbes. The last part, dealing with masonry panels, examines different problems raised by embedment (expansion, concrete cracking, heating coils).

UDC 697.353 : 725.4.

Deb 1ei **Stabilization of soils.**

New researches in stabilization of soils. WINTERKORN (H. F.); *Ann. I. T. B. T. P.*, Fr. (septembre 1952), n° 57 [Soils and Foundations (IX)], 10 p., 4 fig.

The stabilization of a soil tends to make it suitable for vehicular traffic, impervious and erosion resistant. It is applied to roads, airport runways, dams, embankments, etc.

The methods of stabilization vary with the grain size and chemical composition of the soil to be stabilized. Depending on the particular case, the following may be used : compaction, clay, concrete, soil-cement, soil-bitumen; stabilization with natural or synthetic resins, glue, lime, light ash; thermal or electrical stabilization.

Among these processes, the use of bitumen and synthetic resins, particularly of the aniline-furfural mixture, seems to be the most economical and the most practical.

Stabilization is useful in all cases where the soil allows of its use or where the transport and placing of hard materials would be too onerous and too long. It solves particularly well the military problem of quick laying out of serviceable roads on landing beaches.

UDC 624.138.

ESSAIS ET MESURES

(III)

Déjà paru dans la même série au 31 août 1952 :

- N° 1. — G. DAWANCE, Contribution à l'étude de l'effet d'entaille.
- N° 2. — R. L'HERMITE, Considérations sur la viscosité, la plasticité et le frottement interne.
- N° 3. — G. DAWANCE, Une nouvelle méthode pour l'étude de la relaxation des fils d'acier.
- N° 4. — A. DE SOUSA COUTINHO, Détermination des contraintes dans le béton par la méthode du tensomètre photoélastique.
- N° 5. — R. HEYDEL, Le frottement interne des métaux.
- N° 6. — R. L'HERMITE, Recherche sur la pénétration des pointes coniques et le problème de la dureté.
- N° 7. — J. RAUD, Quelques méthodes d'études sur modèles réduits en résistance des matériaux, première partie : Les procédés généraux de mesure. La similitude.
- N° 8. — J. RAUD, Quelques méthodes d'études sur modèles réduits en résistance des matériaux, deuxième partie : Étude des charpentes. Méthodes par analogie.
- N° 9. — G. DAWANCE, Le comportement des matériaux au choc.
- N° 10. — R. L'HERMITE, G. DAWANCE, J. GRANDVOINET, J. BARRÉE, J. CHEFDEVILLE, A. JOISEL, Nouvelles machines d'essais des matériaux créées par les Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics.
- N° 11. — P. DESTABLE, Étude d'une méthode rapide de mesure des coefficients de conductibilité thermique.
- N° 12. — A. LAZARD, Compte tenu d'essais sur le flambage d'une tige posée sur supports élastiques équidistants.
- N° 13. — J. GRANDVOINET, La mesure des efforts et le problème de la machine d'essais.
- N° 14. — J. GRANDVOINET, La mesure des efforts et le problème de la machine d'essais (deuxième partie).
- N° 15. — E. PERRIN, Adaptation aux chantiers des appareils enregistreurs de déformations employés aux laboratoires.
- N° 16. — J. CHEFDEVILLE et G. DAWANCE, L'auscultation dynamique du béton.
- N° 17. — M. PROT, Méthodes modernes d'essai des matériaux.
- N° 18. — P. DESTABLE, Mesure de la densité apparente d'un agrégat.
- N° 19. — P. BRICE, Adhérence des barres d'acier dans le béton.
- N° 20. — J. BROCARD, La recherche du dosage en ciment des mortiers et des bétons durcis.
- N° 21. — R. DUBRISAY, Études physico-chimiques sur le vieillissement des bitumes d'étanchéité.
- N° 22. — M. PUPIL, Contrôle de l'inflammabilité des matériaux.

BATIR

REVUE TECHNIQUE DE LA FÉDÉRATION NATIONALE DU BATIMENT ET DES ACTIVITÉS ANNEXES

PUBLIÉE AVEC LE CONCOURS DE L'INSTITUT TECHNIQUE
ET DES LABORATOIRES DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS

SOMMAIRE DU NUMÉRO 22

Bâtiment et travail en série.

GROS ŒUVRE : Produits colorants pour mortier et bétons.

Un procédé moderne de couverture industrielle.

MÉTAL : Escaliers en acier (I).

BOIS : Le bois au service des grands travaux (II).

ÉQUIPEMENT TECHNIQUE : L'utilisation des lampes fluorescentes (II).

PATHOLOGIE DE LA CONSTRUCTION :

La désagrégation des pierres (I).

Les films du bâtiment.

La couleur : décor, signal, remède.

Une cité champignon.

Échos et Informations.

Fiches bibliographiques.

SOMMAIRE DU NUMÉRO 23

Éditorial.

GROS ŒUVRE : Les bétons de sciure de bois. Fondations pour machines.

MÉTAL : Escaliers en acier (II).

PEINTURE ET DÉCORATION : Les peintures émulsionnées.

BOIS : Le bois au service des grands travaux (III).

ÉQUIPEMENT TECHNIQUE : Les infra-rouges dans le Bâtiment. L'utilisation des lampes fluorescentes (III).

PATHOLOGIE DE LA CONSTRUCTION : La désagrégation des pierres (II).

Comparaison entre le prix d'une maison à sous-sol enterré et celui d'une maison à rez-de-chaussée surélevé.

Échos et Informations.

La vie privée de Louis XI d'après les mémoires des entrepreneurs du temps.

Fiches bibliographiques.

Ces textes s'attachent à présenter, d'une façon à la fois simple et complète, des renseignements utiles.

Prix du numéro : 300 F.

SPÉCIMEN GRATUIT SUR DEMANDE

BATIR — 33, avenue Kléber, Paris-XVI^e

Abonnement d'un an : 2 500 F

(Neuf numéros)